

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-354864

(43)Date of publication of application : 06.12.2002

51)Int.Cl.

H02P 5/00  
F04B 9/00  
F04B 17/04  
F04B 35/04  
F04B 49/06  
H02K 33/06

(21)Application number : 2001-149777

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 18.05.2001

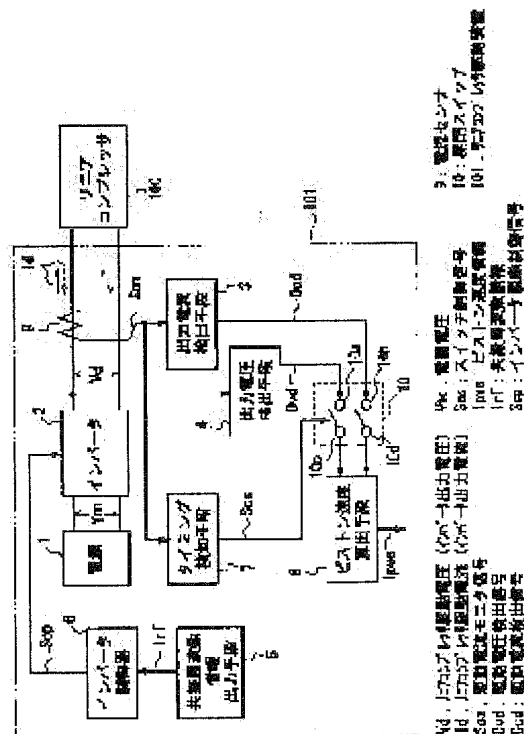
(72)Inventor : UEDA MITSUO  
YOSHIOKA KANEHARU

(54) LINEAR COMPRESSOR DRIVE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To precisely detect the stroke of a piston and the top clearance of a linear compressor without using a position sensor in a linear compressor drive 101.

SOLUTION: In the linear compressor drive 101 equipped with an inverter 2 for supplying driving current with prescribed frequency to a linear compressor 100, there is provided an inverter controller 6 for controlling the inverter 2 so that the frequency of output current may be resonance frequency, based on resonance frequency information. The output current  $I_d$  of the inverter 2 and the instantaneous value of output voltage  $V_d$  are measured in such a phase timing that a variation in the output current  $I_d$  of the inverter 2 is zero, and the piston stroke is computed from these measurements.



(11)特許出願公開番号

(P2002-354864A)

(43)公開日 平成14年12月6日(2002.12.6)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト*(参考)
H 0 2 P 5/00	1 0 1	H 0 2 P 5/00	1 0 1 B 3 H 0 4 5
F 0 4 B 9/00		F 0 4 B 9/00	A 3 H 0 6 9
17/04		17/04	3 H 0 7 5
35/04		35/04	3 H 0 7 6
49/06	3 3 1	49/06	3 3 1 A 5 H 5 4 0
審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 29 頁) 最終頁に続く			

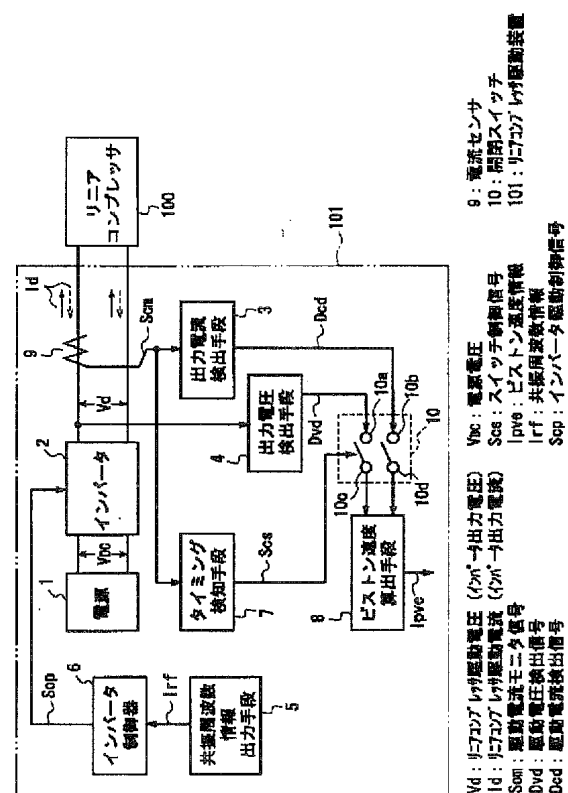
[最終頁に続く](#)

(54) 【発明の名称】 リニアコンプレッサ駆動装置

(57) 【要約】

【課題】 リニアコンプレッサ駆動装置 101 において、位置センサを用いずに、簡単な演算処理により、リニアコンプレッサのピストンのストロークとトップクリアランスを精度よく検知可能とする。

【解決手段】 リニアコンプレッサ１００に所定の周波数の駆動電流を供給するインバータ２を備えたリニアコンプレッサ駆動装置１０１において、共振周波数情報に基づいて、上記インバータ２をその出力電流の周波数が共振周波数となるよう制御するインバータ制御器６を備え、インバータ２の出力電流Ｉｄの変化量がゼロとなる位相タイミングで、インバータ２の出力電流Ｉｄ及び出力電圧Ｖｄの瞬時値を測定し、これらの測定値からピストンストロークを算出するようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ピストン及びピストンを往復運動させるリニアモータを有し、該ピストンの往復運動により圧縮ガスを生成するリニアコンプレッサを、該リニアモータに交流電圧を印加して駆動するリニアコンプレッサ駆動装置であって、

上記リニアモータに交流電圧及び交流電流を出力するインバータと、

上記ピストン往復運動の共振周波数を示す共振周波数情報を出力する共振周波数情報出力手段と、

上記インバータの出力電圧を検出して電圧検出信号を出力する電圧検出手段と、

上記インバータの出力電流を検出して電流検出信号を出力する電流検出手段と、

上記共振周波数情報に基づいて、上記インバータを、その出力電圧及び出力電流としてそれぞれ、周波数が上記ピストン往復運動の共振周波数と一致した正弦波状電圧及び正弦波状電流を出力するよう制御するインバータ制御器と、

上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを特定位相タイミングとして検知するタイミング検知手段と、

上記電圧検出信号及び上記電流検出信号を受け、上記特定位相タイミングにおける、上記インバータの出力電圧及び出力電流のそれぞれ瞬時値に基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン速度の最大振幅を算出するピストン速度算出手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項2】 請求項1記載のリニアコンプレッサの駆動装置において、

上記タイミング検知手段は、上記電流検出信号に基づいて、上記インバータの出力電流の振幅が最大となる位相タイミングを、上記特定位相タイミングとして検知するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項3】 請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記タイミング検知手段は、上記電流検出信号に基づいて、上記インバータの出力交流電流の位相が、 $90^\circ$  及び  $270^\circ$  の少なくとも一方の位相となる位相タイミングを、上記特定位相タイミングとして検知することを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項4】 請求項3記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記インバータに該インバータを駆動制御するインバータ駆動制御信号を出力するインバータ制御器を備え、上記タイミング検知手段を、上記インバータ駆動制御信号の位相に基づいて、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを検知するものとしたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項5】 請求項4記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記タイミング検知手段は、上記インバータの出力電流の位相に対する、上記インバータ駆動制御信号の位相の位相ずれ量を検出する位相ずれ量検出器を有し、該位相ずれ量がゼロとなるようその位相が補正されたインバータ駆動制御信号に基づいて、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを検知するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

10 【請求項6】 請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記ピストン速度算出手段は、上記リニアモータの、温度変化によりその値が変動する推力定数に対して温度補正処理を施し、該温度補正処理を施した推力定数と、上記瞬時電流値、瞬時電圧値、及び該リニアモータの内部抵抗値とに基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

20 【請求項7】 請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記ピストン速度算出手段は、上記リニアモータの、温度変化によりその値が変動する内部抵抗値に対して温度補正処理を施し、該温度補正処理を施した内部抵抗値と、上記インバータの出力電圧及び出力電流のそれぞれの瞬時値と、上記リニアモータの推力定数とに基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項8】 請求項1に記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

30 上記ピストン速度算出手段は、上記ピストン速度の最大振幅を算出する速度算出処理を繰り返し行い、該繰り返される各速度算出処理では、上記リニアモータの、該ピストン速度の変化によりその値が変動する推力定数の値を、前回の速度算出処理により算出されたピストン速度の最大振幅に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項9】 請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

40 上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン変位の最大振幅を示すピストンストローク情報を算出するストローク情報算出手段を備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項10】 請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

50 上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度

算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段を備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項11】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段と、

上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項12】 請求項9に記載のリニアコンプレッサの駆動装置において、

上記インバータ制御器により決定される上記インバータに出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段と、

上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項13】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を検出して、該位置を示す上死点位置情報を出力する上死点位置情報検出センサと、

上記上死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項14】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を検出して、該位置を示す上死点位置情報を出力する上死点位置情報検出センサと、

上記上死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレ

ッサ駆動装置。

【請求項15】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を検出して、該位置を示す下死点位置情報を出力する下死点位置情報検出センサと、

上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項16】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を検出して、該位置を示す下死点位置情報を出力する下死点位置情報検出センサと、

上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項17】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記インバータの出力電流に基づいて上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する中心位置情報算出手段と、

上記中心位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項18】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記インバータの出力電流に基づいて上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する中心位置情報算出手段と、

上記中心位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項19】 請求項10ないし12のいずれかに記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記リニアコンプレッサは、上記ピストンがその中立位置から変位したときに、該ピストンがその中立位置に戻るよう該ピストンを付勢する弾性部材を有するものであり、

上記下死点位置情報算出手段は、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出さ

10

20

30

40

50

れたピストン速度の最大振幅と、上記リニアコンプレッサにおける、上記ピストン往復運動を行う可動部の重量と、上記弾性部材のバネ定数とから、上記下死点位置情報として、上記ピストンの中立位置を基準として上記ピストン下死点位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項20】 請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記ピストンストローク算出手段は、上記ピストン速度の最大振幅に基づいて上記ピストンストローク情報を算出する算出処理を繰り返し行い、該繰り返される個々の算出処理では、上記リニアモータの、該ピストン位置の変化によりその値が変動する推力定数の値を、該前回の算出処理により算出されたピストンストローク情報に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上記ピストンストローク情報を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項21】 ピストン及びピストンを往復運動させるリニアモータを有し、該ピストンの往復運動により圧縮ガスを発生するリニアコンプレッサを、該リニアモータに交流電圧を印加して駆動するリニアコンプレッサ駆動装置であって、

上記リニアモータに交流電圧及び交流電流を出力するインバータと、

上記ピストン往復運動の共振周波数を示す共振周波数情報を出力する共振周波数情報出力手段と、

上記インバータの出力電流を検出して電流検出信号を出力する電流検出手段と、

上記共振周波数情報に基づいて、上記インバータを、その出力電圧及び出力電流としてそれぞれ、周波数が上記ピストン往復運動の共振周波数と一致した正弦波状電圧及び正弦波状電流を出力するよう制御するインバータ制御器と、

上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを特定位相タイミングとして検知するタイミング検知手段と、

上記特定位相タイミングにおける、上記インバータの出力電流の瞬時値に基づいて、上記リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力と上記リニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力との圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す位置情報を算出するピストン中心位置算出手段とを備えたことを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項22】 請求項21記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記リニアコンプレッサは、上記ピストンがその中立位置から変位したときに、該ピストンがその中立位置に戻るよう該ピストンを付勢する弾性部材を有するものであり、

上記中心位置情報算出手段は、上記インバータの出力電流の最大振幅値と、上記リニアモータの推力定数と、上記弾性部材のバネ定数とから、上記中心位置情報として、上記ピストンの中立位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項23】 請求項21記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力を検知する吐出圧力検知手段と、

上記リニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力を検知する吸入圧力検知手段とを備え、

上記中心位置情報算出手段は、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差に基づいて上記冷媒ガスから上記ピストンに作用する、上記ピストン往復運動の方向における作用力を算出し、該算出された作用力に基づいて、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【請求項24】 請求項23記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、

上記中心位置情報算出手段は、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差と、上記共振周波数情報が示す共振周波数とに基づいて、冷媒ガスからピストンに作用する、上記ピストン往復運動方向における作用力を算出し、該算出された作用力から、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするリニアコンプレッサ駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、リニアコンプレッサ駆動装置に関し、ピストンをリニアモータにより往復運動させてシリンダ内部で圧縮ガスを生成するリニアコンプレッサを駆動する装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、圧縮ガスを生成する装置として機械的な弾性部材又は気体の弾性を利用したリニアコンプレッサが知られている。図7は、従来のリニアコンプレッサを説明するための断面図であり、弾性部材としてバネを用いたリニアコンプレッサの構造を具体的に示している。リニアコンプレッサ100は、隣接するシリンダ部71a及びモータ部71bからなる筐体71を有している。この筐体71のシリンダ部71aは該リニアコンプレッサの円筒状シリンダを形成しており、該シリンダ部71a内には、ピストン72が該シリンダの中心軸と平行な方向（ピストン軸線方向）に沿って摺動自在に設けられている。

【0003】上記筐体71内の該ピストン72の背面側

には、ピストンロッド72aが該シリンダ部71a及びモータ部71bに跨って配置されており、該ピストンロッド72aの一端はピストン72に固定されている。さらに、このピストンロッド72aの他端と、これに対向するモータ部71bの内壁面71b1との間には、ピストンを支持する支持バネ（共振バネ）81が配置されている。ここで、この支持バネ81は、該ピストン72がピストン中立位置（ピストン基準位置）から変位したとき変形し、該ピストン72が上記ピストン基準位置に戻るよう該ピストン72を付勢するものである。また、上記ピストン中立位置は、支持バネ81が変形しないピストン位置であり、ピストン72が上記ピストン中立位置に位置している状態では、ピストン72に対する支持バネ82の付勢力は発生しない。

【0004】また、上記ピストンロッド72aの、上記モータ部71b内に位置する部分には、マグネット73が取り付けられており、上記モータ部71b内壁の、マグネット73に対向する部分には、アウターヨーク74aとこれに埋設されたステータコイル74bとからなる電磁石74が取り付けられている。そして、上記電磁石74と上記マグネット73とによりリニアモータ82が構成されている。つまり、上記リニアコンプレッサ100は、そのリニアモータ82の駆動力、つまり該電磁石74とマグネット73との間で発生する電磁力と、上記支持ばね81の弾性力とにより、上記ピストン72がその軸線方向に沿って往復運動するものである。

【0005】一方、上記筐体71内のシリンダヘッド側には、シリンダ上部内面75、ピストン圧縮室72b、及びシリンダ周壁面77により囲まれた密閉空間である圧縮室76が形成されている。シリンダ上部内面75には、上記圧縮室76に低圧冷媒ガスを吸入するための冷媒吸入管1aの一端が開口しており、さらに上記シリンダ上部内面75には、上記圧縮室76から高圧冷媒ガスを吐き出すための冷媒吐出管1bの一端が開口している。上記冷媒吸入管1a及び冷媒吐出管1bには、冷媒ガスの逆流を防止する吸入弁79及び吐出弁80が取り付けられている。

【0006】このような構造を有するリニアコンプレッサ100では、モータドライバ（図示せず）からリニアモータ82への駆動電流の断続的な通電により、ピストン72がその軸線方向に往復動し、圧縮室76への低圧冷媒ガスの吸入、圧縮室76での冷媒ガスの圧縮、及び圧縮された高圧冷媒ガスの圧縮室76からの排出が繰り返行われる。

【0007】ところで、上記のようなリニアコンプレッサ100では、上記リニアモータ82に印加する電流あるいは電圧を一定の値に保持していても、リニアコンプレッサ100にかかる負荷の状態が変化すると、ピストン72のストロークが変化する。このため、特に、上記リニアコンプレッサ100を用いた冷凍圧縮機では、変

化する環境温度に応じた冷媒流量の制御により、冷凍サイクルの熱力学効率が大きく改善されることから、冷媒流量を決定するピストン72のストロークを検知する手段（ピストンストローク検知手段）が必要となる。

【0008】また、リニアコンプレッサ100では、構造上、ピストン先端部がシリンダ上面に衝突する危険性がある。つまり、ピストン72は、上記リニアモータ82のピストン駆動力や上記支持ばね81の弾性力だけでなく、圧縮室76内部の冷媒ガスの圧力とピストン72の背面圧力との差圧による力を受け、ピストン72の往復動の中心位置（以下、ピストン振幅中心位置ともいう。）が、上記差圧がゼロであるときのピストン振幅中心位置、つまり支持バネが変形していないときのピストン位置（ピストン中立位置）に対してオフセットされる。このため、負荷状態の変化によってピストン72に作用する圧縮室76の内部圧力が増減すると、ピストン72のストロークだけでなくピストン72の往復動の中心位置が変化する。

【0009】そこで、ピストンとシリンダの衝突を回避するためには、上記ストローク検知手段だけでなく、ピストン先端部とシリンダヘッド内面との間の距離を検知する位置検知手段が必要不可欠である。例えば、衝突回避手段を持たないリニアコンプレッサでは、ピストン先端部がシリンダヘッド内面に打ち付けられ、不快な雑音が発生したり、ピストンあるいはシリンダが損傷したりすることがある。

【0010】上記のような位置検知手段としては、リニアコンプレッサ100におけるピストンなどの可動部材と非接触で、ピストン中立位置などのピストン基準位置に対するピストンの変位の程度（ピストン変位置）を検出可能なセンサ、例えば、渦電流方式を用いた変位計、差動トランスを用いた変位計などが用いられる。

【0011】ところが、このようなセンサを用いると、リニアコンプレッサ100の製造コストが増大するだけでなく、センサを装着するスペースが必要となり、リニアコンプレッサ100の筐体71が大きくなってしまふ。また、このようなセンサは、コンプレッサ100内部で高温かつ高圧のガスにさらされた状態で使用されるため、センサ自体の信頼性の問題、言い換えると、このようなセンサとしては、高温高圧の雰囲気の下で信頼して使用できるものが要求されるという問題も生じる。

【0012】そこで、ピストン72の位置を検出する方法として、ピストンの位置検出を、リニアコンプレッサ100内部に配置される位置センサにより行うという方法ではなく、リニアコンプレッサ100に供給されるリニアモータの駆動電流及び駆動電圧を直接測定し、その測定値に基づいてピストン72の位置を導出する手法が提案されている（特表平8-508558号公報参照）。

【0013】以下、この公報記載の、リニアコンプレ

サに用いられるピストン位置検知方法について説明する。図8は、リニアコンプレッサのピストンを駆動するリニアモータの等価回路を示す図である。図中、Lはリニアモータを構成する巻線の等価インダクタンス [H] であり、Rは該巻線の等価抵抗 [Ω] である。また、Vはリニアモータに印加される瞬時電圧 [V] であり、Iはリニアコンプレッサに印加される電流 [A] である。 $\alpha \times v$  はリニアモータの駆動により生じる誘導起電圧 [V] であり、 $\alpha$  はリニアモータの推力定数 [N/A]、 $v$  はリニアモータの瞬時速度 [m/s] である。ここで、リニアモータの推力定数  $\alpha$  は、リニアモータに単位電流 [A] を流したときに生じる力 [N] を示している。また、推力定数  $\alpha$  の単位は [N/A] により表しているが、この単位は、[Wb/m]、[V・s/m] と同等である。

【0014】図8に示す等価回路はキルヒホッフの法則から導出されるものであり、この等価回路から、リニアモータの瞬時速度  $v$  [m/s] が求められる。つまり、リニアモータの駆動状態では、リニアモータに対する印加電圧 (V) は、リニアモータの巻線の等価抵抗による降下電圧 ( $I \times R$ ) [V] と、該巻線の等価インダクタンスによる降下電圧 ( $L \cdot dI/dt$ ) [V] と、リニアモータの駆動により生じる誘導起電圧 ( $\alpha \times v$ ) [V] との和と釣り合うこととなり、下記の (1) 式が成立する。

【0015】

【数1】

$$v = \frac{1}{\alpha} \left( V - R \times I - L \frac{dI}{dt} \right) \quad \dots (1)$$

上記 (1) 式で用いられている係数  $\alpha$  [N/A]、 $R$  [Ω]、 $L$  [H] はモータ固有の定数であり、既知の値となっている。従って、これらの定数と、測定された印加電圧  $V$  [V] 及び印加電流  $I$  [A] から、(1) 式に基づいて、瞬時速度  $v$  [m/s] が求められる。

【0016】また、ピストン変位量 (不定の基準位置からピストンまでの距離)  $x$  [m] は、下記の (2) 式に示すように、瞬時速度  $v$  [m/s] の時間積分により求められる。なお、(2) 式における定数 Const. は積分開始時のピストン変位量である。

【数2】

$$x = \int v \, dt + \text{Const.} \quad \dots (2)$$

このように上記公報記載のピストン位置検知方法では、リニアモータに対する印加電圧の測定値  $V$  及び印加電流の測定値  $I$  に対して、上記 (1) 式に基づいて微分処理を含む演算処理を施して、ピストンの瞬時速度  $v$  を求め、さらにこの瞬時速度  $v$  に対して、上記 (2) 式に基づいた積分処理を含む演算処理を施して、ピストン変位量  $x$  を算出することができる。但し、このように上記

(1) 式及び (2) 式に基づく演算により得られるピストン変位量  $x$  は、ピストン軸線上のある位置を基準とす

る変位量であり、この変位量  $x$  から直接、シリンダヘッドからピストン上死点位置までの距離を求めることはできない。

【0017】つまり、リニアコンプレッサ 100 に負荷がかかっている状態では、ピストン往復運動におけるピストン中心位置 (ピストン振幅中心位置) は、冷媒ガスの圧力により、ピストン中立位置 (つまり圧縮室内の圧力が背面圧力に等しい場合のピストン振幅中心位置) に対してオフセットされることとなり、ピストンはオフセットされたピストン振幅中心位置を中心として往復動することとなる。言い換えると、(2) 式により得られるピストン変位量  $x$  は平均成分を含むものとなる。

【0018】ところが、実際のアナログ積分器またはデジタル積分器はすべて、定数または DC 入力に対して完全な応答信号を出力する理想的な積分処理を行うものではなく、DC 入力に対する応答を制限したものとなっているため、実際の積分器では、上記ピストン変位量  $x$  に対してその平均成分を反映した積分演算処理を施すことができない。なお、このように実際の積分器を DC 応答を制限したものとしているのは、入力信号における避けることのできない DC 成分によってその出力が飽和するのを回避するためである。

【0019】この結果、実際の積分器による上記 (2) 式に基づく積分処理により求められるピストン変位量  $x$  [m] は、この変位量から、ピストンとシリンダヘッドの間の実際の距離を直接求めることができるものではなく、単に、ピストン軸線上のある地点を基準としたピストン位置を示すものである。

【0020】このため、(2) 式から得られるピストン変位量  $x$  [m] は、ピストン振幅中心位置に対するピストン位置を示すピストン変位量  $x'$  に変換され、さらにこの変換されたピストン変位量  $x'$  を用いて、ピストン振動中心位置を示す、シリンダヘッドを基準とするピストン変位量  $x''$  を求める演算処理が行われる。

【0021】以下、これらの演算処理について詳述する。図9は、上記シリンダ内でのピストン位置を模式的に示す図である。まず、図9に示される3つの座標系、つまり第1の座標系  $X$ 、第2の座標系  $X'$ 、第3の座標系  $X''$  について簡単に説明する。

【0022】第1の座標系  $X$  は、上記ピストン変位量  $x$  を表す座標系であり、ピストン軸線上のある地点  $Paru$  を原点 ( $x = 0$ ) としている。従って、変位量  $x$  の絶対値は、上記地点  $Paru$  からピストン先端位置  $P$  までの距離を示す。第2の座標系  $X'$  は、上記ピストン変位量  $x'$  を表す座標系であり、ピストン振幅中心位置  $Pav$  を原点 ( $x' = 0$ ) としている。従って、変位量  $x'$  の絶対値は、該振動中心位置  $Pav$  からピストン先端位置  $P$  までの距離を表す。第3の座標系  $X''$  は、上記ピストン変位量  $x''$  を表す座標系であり、ピストン軸線上のシリンダヘッドの位置  $Psh$  を原点 ( $x'' = 0$ ) としている。

従って、変位量  $x''$  の絶対値は、シリンダヘッド位置  $P_{sh}$  からピストン先端位置  $P$  までの距離を表す。

【0023】次に、ピストン変位量  $x''$  を求める演算について説明する。最もピストンがシリンダヘッド75に近づいたときのピストン位置（ピストン上死点位置） $P_{td}$  は、上記第1の座標系  $X$  上では変位量  $x_{td}$  により示され、最もピストンがシリンダヘッドから遠ざかったときのピストン位置（ピストン下死点位置） $P_{bd}$  は、上記第1の座標系  $X$  上では、変位量  $x_{td}$  より示される。そして、上記第1の座標系  $X$  上での、ピストン上死点位置  $P_{td}$  に相当する変位量  $x_{td}$  と、上記第1の座標系  $X$  上での、ピストン下死点位置  $P_{bd}$  に相当する変位量  $x_{bd}$  との差から、ピストンストローク  $L_{ps}$  [m] が求められる。

【0024】また、ピストンが往復動している状態でのピストン振幅中心位置  $P_{av}$  は、最もピストンがシリンダヘッドに近づいたときのピストン位置（ピストン上死点位置） $P_{td}$  の変位量  $x_{td}$  から、ピストンストローク  $L_{ps}$  [m] の半分の長さ（ $L_{ps}/2$ ）だけシリンダヘッドから遠ざかった位置である。従って、ピストン振幅中心位置  $P_{av}$  は、上記第1の座標系  $X$  上では、変位量  $x_{av}$  (=  $(x_{bd} - x_{td})/2$ ) により示される。さらに、(2) 式の定数  $Const.$  を0とすることにより、ピストン振幅中心位置  $P_{av}$  を基準（原点）として、言い換えると第2の座標系  $X'$  上にて、ピストン位置  $P$  をピストン変位量  $x'$  [m] により示す新たな関数が導出される。

【0025】続いて、シリンダヘッド位置  $P_{sh}$  を原点とする第3の座標系  $X''$  にて、ピストン振幅中心位置を示すピストン変位量  $x''$  を求める方法について説明する。リニアコンプレッサ100が冷媒ガスを吸入している状態（吸入状態）では、つまり、吸入弁が開いている状態では、圧縮室内部の圧力とピストン背面の圧力とは共に冷媒の吸入圧となって等しくなる。これは、リニアコンプレッサ100が、吸入弁が開いた状態では差分圧が0となる構造となっているためである。この状態では、冷媒ガスの圧力がピストンに作用する力を無視することができる。つまりこの状態では、ピストンに作用する力は、支持バネ81がたわむことにより生じるバネの反発力と、リニアモータに電流を流すことにより生じる電磁力のみである。ニュートンの力学運動法則より、これらの力の和は、運動を行っている可動部材の全質量とその加速度的積に等しくなる。

【0026】従って、この状態では、可動部材に関する運動方程式として下記の(3)式が成立する。

$$m \times a = \alpha \times l - k(x' + x_{av} - x_{ini}) \quad \cdots (3)$$

(3)式において、 $m$  は往復運動を行っている可動部材の全質量 [kg]、 $a$  は該可動部材の瞬時加速度 [m/s<sup>2</sup>]、 $k$  はリニアコンプレッサに組み込まれている支持バネのバネ定数 [N/m] である。また、 $x_{av}$  は、上述した、ピストン振幅中心位置を示す第3の座標

系  $X''$  での変位量であり、この変位量  $x_{av}$  は、その絶対値が、シリンダヘッド位置  $P_{sh}$  からピストン振幅中心位置  $P_{av}$  までの距離を表すものである。さらに、 $x_{ini}$  は、ピストン中立位置  $P_{ini}$  を示す第3の座標系  $X''$  での変位量であり、この変位量  $x_{ini}$  は、その絶対値が、上記ピストン中立位置（該支持バネが変形していない状態でのピストンの位置） $P_{ini}$  とシリンダヘッド位置  $P_{sh}$  との間の距離 [m] を表すものである。

【0027】ここで、瞬時加速度  $a$  [m/s<sup>2</sup>] は、(1)式で表される瞬時速度  $v$  [m/s] を微分することによって、下記の(4)式に示すように求めることができる。

【数4】

$$a = \frac{dv}{dt} \quad \cdots (4)$$

また、ピストン振幅中心位置  $P_{av}$  からのピストン先端位置  $P$  までの距離を示す、第2の座標系  $X'$  の変位量  $x'$  [m] は、(2)式の定数  $Const.$  を0とすることにより求められる。さらに、可動部材の全質量  $m$  [kg]、支持バネのバネ定数  $k$  [N/m]、シリンダヘッド位置  $P_{sh}$  からピストン中立位置  $P_{ini}$  までの距離を表す、第3の座標系  $X''$  の変位量  $x_{ini}$  [m] は既知の値であり、駆動電流  $I$  は測定値を用いることができる。

【0028】従って、(3)式を用いて、シリンダヘッド位置  $P_{sh}$  からピストン振幅中心位置  $P_{av}$  までの距離を示す、第3の座標系  $X''$  の変位量  $x_{av}$  を算出することができる。また、ピストンの上死点位置（ピストンがシリンダヘッドに最も近づく位置） $P_{td}$  を示す、第3の座標系  $X''$  の変位量  $x_{td}$  [m] は、上記(3)式により求めた第3の座標系  $X''$  の変位量  $x_{av}$  （シリンダヘッド位置  $P_{sh}$  からピストン振幅中心位置  $P_{av}$  までの距離）から、既に求めたピストンストローク長  $L_{ps}$  [m] の半分（ $L_{ps}/2$ ）の距離だけシリンダヘッド側へ遠ざかった位置の変位量として求められる。

【0029】このようにして、リニアコンプレッサに印加される電流  $I$  及び電圧  $V$  からピストンのストローク長  $L_{ps}$  [m] と、ピストン上死点位置  $P_{td}$  を、シリンダヘッド位置  $P_{sh}$  からの距離として示す、第3座標系  $X''$  の変位量  $x_{td}$  [m] が算出される。

【0030】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来のリニアコンプレッサ100のピストン位置検知方法では、ピストン振幅中心位置  $P_{av}$  を基準としてピストン位置  $P$  を相対的に示すピストン変位量  $x'$  を、積分器と微分器を用いて算出するため、高い精度でピストン位置を検知することを望むことはできない。つまり、実際の積分器や微分器は、アナログ回路により構成すると、部品のばらつきや温度による特性の変化などの原因により、デジタル回路により構成すると、サンプルホールドでの情報の欠落などの原因により、理想的な動作



を期待できないものである。

【0031】また、上記リニアコンプレッサのピストン位置検知を行うための回路を、デジタル回路により構成した場合、位置検知精度を向上させるために、リニアコンプレッサに印加される電流I及び電圧Vの測定周期を短縮することも考えられるが、測定周期を短くすると、それに応じて上記計算周期が短くなって、デジタル回路での演算負荷が増大することとなる。従って、測定周期を短縮した場合には、デジタル演算回路を構成するマイコン（マイクロコンピュータ）の性能を高める必要が生じる。

【0032】本発明は、上記このような従来の課題を解決するためのなされたもので、リニアコンプレッサの駆動電流及び駆動電圧の測定値に基づいて、これらの測定値を用いた演算処理の負荷を増大させることなく、高い精度でピストンの位置検知を行うことができるリニアコンプレッサ駆動装置を提供することを目的とするものである。

【0033】

【課題を解決するための手段】この発明（請求項1）に係るリニアコンプレッサ駆動装置は、ピストン及びピストンを往復運動させるリニアモータを有し、該ピストンの往復運動により圧縮ガスを生成するリニアコンプレッサを、該リニアモータに交流電圧を印加して駆動するリニアコンプレッサ駆動装置であって、上記リニアモータに交流電圧及び交流電流を出力するインバータと、上記ピストン往復運動の共振周波数を示す共振周波数情報を出力する共振周波数情報出力手段と、上記インバータの出力電圧を検出して電圧検出信号を出力する電圧検出手段と、上記インバータの出力電流を検出して電流検出信号を出力する電流検出手段と、上記共振周波数情報に基づいて、上記インバータを、その出力電圧及び出力電流としてそれぞれ、周波数が上記ピストン往復運動の共振周波数と一致した正弦波状電圧及び正弦波状電流を出力するよう制御するインバータ制御器と、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを特定位相タイミングとして検知するタイミング検知手段と、上記電圧検出信号及び上記電流検出信号を受け、上記特定位相タイミングにおける、上記インバータの出力電圧及び出力電流のそれぞれ瞬時値に基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン速度の最大振幅を算出するピストン速度算出手段とを備えたものである。

【0034】この発明（請求項2）は、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記タイミング検知手段は、上記電流検出信号に基づいて、上記インバータの出力電流の振幅が最大となる位相タイミングを、上記特定位相タイミングとして検知するものであることを特徴とするものである。

【0035】この発明（請求項3）は、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記タイミング

検知手段は、上記電流検出信号に基づいて、上記インバータの出力交流電流の位相が、 $90^\circ$ 及び $270^\circ$ の少なくとも一方の位相となる位相タイミングを、上記特定位相タイミングとして検知することを特徴とするものである。

【0036】この発明（請求項4）は、請求項3記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータに該インバータを駆動制御するインバータ駆動制御信号を出力するインバータ制御器を備え、上記タイミング検知手段を、上記インバータ駆動制御信号の位相に基づいて、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを検知するものとしたことを特徴とするものである。

【0037】この発明（請求項5）は、請求項4記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記タイミング検知手段は、上記インバータの出力電流の位相に対する、上記インバータ駆動制御信号の位相の位相ずれ量を検出する位相ずれ量検出器を有し、該位相ずれ量がゼロとなるようその位相が補正されたインバータ駆動制御信号に基づいて、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを検知するものであることを特徴とするものである。

【0038】この発明（請求項6）は、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン速度算出手段は、上記リニアモータの、温度変化によりその値が変動する推力定数に対して温度補正処理を施し、該温度補正処理を施した推力定数と、上記瞬時電流値、瞬時電圧値、及び該リニアモータの内部抵抗値とに基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするものである。

【0039】この発明（請求項7）は、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン速度算出手段は、上記リニアモータの、温度変化によりその値が変動する内部抵抗値に対して温度補正処理を施し、該温度補正処理を施した内部抵抗値と、上記インバータの出力電圧及び出力電流のそれぞれの瞬時値と、上記リニアモータの推力定数とに基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするものである。

【0040】この発明（請求項8）は、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン速度算出手段は、上記ピストン速度の最大振幅を算出する速度算出処理を繰り返し行い、該繰り返される各速度算出処理では、上記リニアモータの、該ピストン速度の変化によりその値が変動する推力定数の値を、前回の速度算出処理により算出されたピストン速度の最大振幅に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするものである。

【0041】この発明（請求項9）は、請求項1記載の

リニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン変位の最大振幅を示すピストンストローク情報を算出するストローク情報算出手段を備えたことを特徴とするものである。

【0042】この発明（請求項10）は、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段を備えたことを特徴とするものである。

【0043】この発明（請求項11）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段と、上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0044】この発明（請求項12）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段と、上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0045】この発明（請求項13）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を検出して、該位置を示す上死点位置情報を出力する上死点位置情報検出センサと、上記上死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0046】この発明（請求項14）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を検出して、該位置を示す上死点位置情報を出力する上死点位置情報検出

センサと、上記上死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0047】この発明（請求項15）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を検出して、該位置を示す下死点位置情報を出力する下死点位置情報検出センサと、上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0048】この発明（請求項16）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を検出して、該位置を示す下死点位置情報を出力する下死点位置情報検出センサと、上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0049】この発明（請求項17）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータの出力電流に基づいて上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する中心位置情報算出手段と、上記中心位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0050】この発明（請求項18）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータの出力電流に基づいて上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する中心位置情報算出手段と、上記中心位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0051】この発明（請求項19）は、請求項10ないし12のいずれかに記載のリニアコンプレッサの駆動装置において、上記リニアコンプレッサは、上記ピストンがその中立位置から変位したときに、該ピストンがその中立位置に戻るよう該ピストンを付勢する弾性部材を有するものであり、上記下死点位置情報算出手段は、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅と、上

10

20

30

40

50

記リニアコンプレッサにおける、上記ピストン往復運動を行う可動部の重量と、上記弾性部材のバネ定数とから、上記下死点位置情報として、上記ピストンの中立位置を基準として上記ピストン下死点位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするものである。

【0052】この発明（請求項20）は、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストンストローク算出手段は、上記ピストン速度の最大振幅に基づいて上記ピストンストローク情報を算出する算出処理を繰り返し行い、該繰り返される個々の算出処理では、上記リニアモータの、該ピストン位置の変化によりその値が変動する推力定数の値を、該前回の算出処理により算出されたピストンストローク情報に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上記ピストンストローク情報を算出するものであることを特徴とするものである。

【0053】この発明（請求項21）に係るリニアコンプレッサ駆動装置は、ピストン及びピストンを往復運動させるリニアモータを有し、該ピストンの往復運動により圧縮ガスを発生するリニアコンプレッサを、該リニアモータに交流電圧を印加して駆動するリニアコンプレッサ駆動装置であって、上記リニアモータに交流電圧及び交流電流を出力するインバータと、上記ピストン往復運動の共振周波数を示す共振周波数情報を出力する共振周波数情報出力手段と、上記インバータの出力電流を検出して電流検出信号を出力する電流検出手段と、上記共振周波数情報に基づいて、上記インバータを、その出力電圧及び出力電流としてそれぞれ、周波数が上記ピストン往復運動の共振周波数と一致した正弦波状電圧及び正弦波状電流を出力するよう制御するインバータ制御器と、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを特定位相タイミングとして検知するタイミング検知手段と、上記特定位相タイミングにおける、上記インバータの出力電流の瞬時値に基づいて、上記リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力と上記リニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力との圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す位置情報を算出するピストン中心位置算出手段とを備えたものである。

【0054】この発明（請求項22）は、請求項21記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記リニアコンプレッサは、上記ピストンがその中立位置から変位したときに、該ピストンがその中立位置に戻るよう該ピストンを付勢する弾性部材を有するものであり、上記中心位置情報算出手段は、上記インバータの出力電流の最大振幅値と、上記リニアモータの推力定数と、上記弾性部材のバネ定数とから、上記中心位置情報として、上記ピストンの中立位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするものである。

【0055】この発明（請求項23）は、請求項21記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力を検知する吐出圧力検知手段と、上記リニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力を検知する吸入圧力検知手段とを備え、上記中心位置情報算出手段は、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差に基づいて上記冷媒ガスから上記ピストンに作用する、上記ピストン往復運動の方向における作用力を算出し、該算出された作用力に基づいて、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするものである。

【0056】この発明（請求項24）は、請求項23記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記中心位置情報算出手段は、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差と、上記共振周波数情報が示す共振周波数とに基づいて、冷媒ガスからピストンに作用する、上記ピストン往復運動方向における作用力を算出し、該算出された作用力から、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするものである。

#### 【0057】

【発明の実施の形態】まず、本発明の基本原理について簡単に説明する。リニアコンプレッサがピストン運動の共振状態で駆動されているリニアコンプレッサの共振駆動状態では、リニアコンプレッサに印加される交流電流（駆動電流）の位相が、往復運動するピストンの速度に対応する位相に一致した状態が保持される。つまり、上記共振駆動状態では、上記リニアコンプレッサ駆動電流の微分値が0となるタイミングで、リニアコンプレッサのピストン速度の振幅が最大となる。

【0058】本件発明者はこのようなリニアコンプレッサの共振駆動状態における、その駆動電流の位相とピストン速度の位相との関係に着目し、リニアコンプレッサ駆動電流の微分値が0となる位相タイミングを検出することにより、ピストン速度の最大振幅を高い精度で検出することができ、さらにはこのピストン速度の最大振幅からピストン上死点位置を算出することができることを見出した。以下、本発明の実施の形態について説明する。

【0059】（実施の形態1）図1は本発明の実施の形態1によるリニアコンプレッサ駆動装置を説明するためのブロック図である。この実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101は、ピストン往復運動の周波数が周波数（共振周波数） $F_r$ であるとき、ピストン往復運動が共振状態となるよう構成されたリニアコンプレッサ100を駆動する装置である。

【0060】すなわち、このリニアコンプレッサ駆動装置101は、電源電圧として直流電圧VDCを発生する電

源1と、該電源電圧VDCを所定の周波数の交流電圧Vdに変換してリニアコンプレッサ100に出力するインバータ2と、該インバータ2からリニアコンプレッサ100に出力されるインバータ出力電流Idをモニタする電流センサ9と、該モニタ出力Scmに基づいてインバータ2のインバータ出力電流Idを検出する出力電流検出手段3と、上記インバータからリニアコンプレッサ100に出力されるインバータ出力電圧Vdを検出する出力電圧検出手段4とを有している。

【0061】上記リニアコンプレッサ駆動装置101は、上記ピストン往復運動の共振周波数Frを示す共振周波数情報Irfを出力する共振周波数情報出力手段5と、共振周波数情報Irfに基づいて、上記インバータ2を、その出力電流Idの周波数Fidが上記共振周波数Frと一致するようにインバータ制御信号Scpにより制御するインバータ制御器6と、上記電流センサ9のモニタ出力Scmに基づいてインバータ2の出力電流（リニアコンプレッサ100の駆動電流）Idの微分値が0になる位相タイミングを検出するタイミング検知手段7とを有している。

【0062】上記リニアコンプレッサ駆動装置101は、上記出力電圧検出手段4の検出出力（駆動電圧検出信号）Dvd及び出力電流検出手段3の検出出力（駆動電流検出信号）Dcdに基づいて、ピストン速度の最大振幅（最大速度）を算出するピストン速度算出手段8と、上記タイミング検知手段7の検出出力Scsに基づいて、上記ピストン速度算出手段8への上記駆動電圧検出信号Dvd及び駆動電流検出信号Dcdの供給及びそれらの供給停止を制御する開閉スイッチ10とを有している。

【0063】続いて、上記リニアコンプレッサ駆動装置の各部の構成について詳しく説明する。まず、共振周波数情報出力手段5について説明する。この実施の形態1では、上述したように、リニアコンプレッサ100は、これが動作する負荷条件にて、ピストン往復運動の共振周波数として一定の共振周波数Frを持つように設計されており、上記共振周波数情報出力手段5は、この固有の共振周波数を示す共振周波数情報Irfを出力するものである。

【0064】但し、上記共振周波数情報出力手段5は、上記のように予めリニアコンプレッサ100に対して設定された固有の共振周波数Frを示す情報を出力するものに限るものではない。例えば、図7に示すリニアコンプレッサ100では、圧縮される冷媒ガスによる、ピストンに作用するバネ力は大きく、またそのバネ力は、リニアコンプレッサ100の動作状態、例えば、圧縮される冷媒ガスの圧力やピストン72の変位量などにより大きく変化するため、実際は、リニアコンプレッサ100の共振周波数は一意に決定できるものではない。

【0065】そこで、共振周波数発生手段5は、圧縮される冷媒ガスの状態を監視し、その状態に見合った共振

周波数を推定し、推定された共振周波数を示す情報を出力するものであってもよい。この共振周波数の推定方法としては、冷媒ガスの状態を示す変数（例えば冷媒の圧力値や温度値）から所定の関数式に基づいて共振周波数を算出するものであっても、また、該変数と共振周波数との対応関係を示すテーブルを用いて、該変数から共振周波数を推定するものであってもよい。

【0066】さらに、共振周波数情報出力手段5は、特願2000-361301号の明細書に示されるよう

に、リニアコンプレッサ100にその駆動電流として入力される交流電流の振幅値を一定とする条件で、その交流電流の周波数を変化させたときに、リニアコンプレッサで消費される電力が最大となる周波数を、共振周波数と推定するものであってもよい。

【0067】次に、インバータ制御器6、インバータ2、及び該インバータ2の入力電源1について詳しく説明する。インバータ制御器6は、上記インバータ2の制御信号Scpとして、インバータ2をスイッチングするPWM（パルス幅変調）信号をインバータ2に出力するとともに、該PWM信号Scpのパルス幅を、上記共振周波数情報Irfに基づいて調整するものである。このPWM信号Scpは、そのパルス幅に相当する期間だけインバータ2を駆動するものである。

【0068】インバータ2は、上記電源1からの電圧V<sub>in</sub>を受け、インバータ制御器6からのインバータ制御信号Scpに基づいて、その周波数が上記共振周波数Frと等しい交流電圧Vd及び交流電流Idをリニアコンプレッサ1に供給するものである。なお、インバータ2の入力電源1としては、インバータ2に直流電力を供給する直流電源が必要であるが、インバータ2の入力電源は、商用の交流電源を用いたものであってもよい。このような入力電源は、商用の交流電圧（電流）を整流する、例えば、ダイオードブリッジ回路や高力率コンバータなどの整流回路と、該整流回路の出力を平滑する平滑用コンデンサとから構成されるものである。

【0069】上記インバータ2の具体的な回路構成としては、図2(a)～図2(d)に示すように種々のものがある。図2(a)及び図2(b)に示すインバータはそれぞれ、4石のスイッチング素子と、それぞれの素子に対応するダイオードとを有する電圧形フルブリッジインバータ21及び電流形フルブリッジインバータ22であり、これらのフルブリッジインバータは、その入力電源の電圧が直流電圧V<sub>in</sub>であるとき、負荷Lには、+VDCから-V<sub>in</sub>までの範囲の電圧を出力するものである。

【0070】つまり、電圧形フルブリッジインバータ21は、第1及び第2のスイッチング回路21a及び21bを直列に接続してなる第1の直列接続回路C1aと、該第1の直列接続回路C1aに並列に接続された、第3及び第4のスイッチング回路21c及び21dを直列に接続してなる第2の直列接続回路C1bとから構成され

ている。ここで、各スイッチング回路21a~21dは、NPNトランジスタからなるスイッチング素子S1と、これに逆並列接続されたダイオードD1とから構成されている。このインバータ21は、上記第1及び第2の直列接続回路C1a及びC1bの両端に電源1の直流電圧V<sub>DC</sub>が印加され、第1の直列接続回路C1aにおける第1及び第2のスイッチング回路21a及び21bの接続点N1aと、第2の直列接続回路C1bにおける第3及び第4のスイッチング素子21c及び21dの接続点N1bとの間に、負荷Lに印加する交流電圧V<sub>d</sub>を発生するものである。

【0071】また、電流形フルブリッジインバータ22は、第1及び第2のスイッチング回路22a及び22bを直列に接続してなる第1の直列接続回路C2aと、該第1の直列接続回路C2aに並列に接続された、第3及び第4のスイッチング回路22c及び22dを直列に接続してなる第2の直列接続回路C2bと、一端が上記第1及び第2の直列接続回路C2a及びC2bの一端に接続されたインダクタンス素子22eとから構成されている。ここで、各スイッチング回路22a~22dは、NPNトランジスタからなるスイッチング素子S2と、該NPNトランジスタのエミッタにアノードが接続されたダイオードD2とから構成されている。このインバータ22は、上記インダクタンス素子22eの他端と上記第1及び第2の直列接続回路C2a及びC2bの他端との間に電源1の直流電圧V<sub>DC</sub>が印加されると、第1の直列接続回路C2aにおける第1及び第2のスイッチング回路22a及び22bの接続点N2aと、第2の直列接続回路C2bにおける第3及び第4のスイッチング回路22c及び22dの接続点N2bとの間に、負荷Lに印加する交流電圧V<sub>d</sub>を発生するものである。

【0072】また、図2(c)及び図2(d)に示すインバータはそれぞれ、2石のスイッチング素子と、該各素子に対応するダイオードとを有する電圧形ハーフブリッジインバータ23及び24である。ここで、上記ハーフブリッジインバータ23は、その入力電源の電圧が直流電圧V<sub>DC</sub>であるとき、負荷Lには $+V_{DC}/2$ から $-V_{DC}/2$ までの範囲の電圧を出力するものである。また、上記ハーフブリッジインバータ24は、その入力電源の電圧が直流電圧V<sub>DC</sub>であるとき、負荷Lには $+V_{DC}$ から0までの範囲の電圧を出力するものである。このようにこれらのハーフブリッジインバータは、電源利用率がフルブリッジインバータの半分であるものである。

【0073】つまり、電圧形ハーフブリッジインバータ23は、第1及び第2のスイッチング回路23a及び23bを直列に接続してなる第1の直列接続回路C3aと、該第1の直列接続回路C3aに並列に接続された、第1及び第2のキャパシタンス回路23c及び23dを直列に接続してなる第2の直列接続回路C3bとから構成されている。ここで、各スイッチング回路23a及び

23bは、NPNトランジスタからなるスイッチング素子S3と、これに逆並列接続されたダイオードD3とから構成されている。上記第1及び第2のキャパシタンス回路23c及び23dはそれぞれコンデンサ23c及び23dから構成されている。このインバータ23は、上記第1及び第2の直列接続回路C3a及びC3bの両端に電源1の直流電圧V<sub>DC</sub>が印加されると、第1の直列接続回路C3aにおける第1及び第2のスイッチング回路23a及び23bの接続点N3aと、第2の直列接続回路C3bにおける第1及び第2のキャパシタンス回路23c及び24dの接続点N3bの間に、負荷Lに印加する交流電圧V<sub>d</sub>を発生するものである。

【0074】また、電圧形ハーフブリッジインバータ24は、第1及び第2のスイッチング回路24a及び24bを直列に接続してなる直列接続回路C4aから構成されている。ここで、各スイッチング回路24a及び24bは、NPNトランジスタからなるスイッチング素子S4と、これに逆並列接続されたダイオードD4とから構成されている。このインバータ24は、上記直列接続回路C4aの両端に直流電源1の出力電圧が印加されると、上記第2のスイッチング回路24bを構成するダイオードD4のアノードとカソードの間に、負荷Lに印加する交流電圧V<sub>d</sub>を発生するものである。

【0075】次に、出力電流検出手段3、電流センサ9、出力電圧検出手段4、開閉スイッチ10及びタイミング検知手段7について詳しく説明する。上記出力電流検出手段3は、上記電流センサ9のモニタ出力である駆動電流モニタ信号S<sub>cm</sub>に基づいて、リニアコンプレッサ100のリニアモータ82（図7参照）に印加されるインバータ出力電流（リニアコンプレッサ駆動電流）I<sub>d</sub>を検出して駆動電流検出信号D<sub>cd</sub>を上記開閉スイッチ10に出力するものである。この電流センサ9としては、磁性体とホール素子を使用した磁気式の電流検出センサや、リニアコンプレッサ駆動電流に応じた電圧を発生するカレントトランスなどが考えられる。また、リニアコンプレッサ100の駆動電流を検出する方法としては、上記電流供給経路に配置されたシャント抵抗に発生する電圧から電流を算出する方法もある。

【0076】上記出力電圧検出手段4は、インバータ2がリニアコンプレッサ100のリニアモータ82（図7参照）に供給するインバータ出力電圧（リニアコンプレッサ駆動電圧）V<sub>d</sub>を検出して、駆動電圧検出信号D<sub>vd</sub>を上記開閉スイッチ10に出力するものである。ここで、上記インバータ2が電圧形インバータである場合、インバータ出力電圧V<sub>d</sub>の波形はPWM波形であるため、該インバータ出力電圧V<sub>d</sub>を直接測定することは困難である。そこで、電圧形インバータの出力電圧の測定方法としては、トランスやコンデンサと、抵抗とによって作成されたローパスフィルタなどを用いて、出力電圧に対してPWM波形の整形処理を施し、該波形整形処理

が施された出力電圧を測定する方法が考えられる。また、電圧形インバータの出力電圧の測定方法としては、上記のようなローパスフィルタを使用する方法ではなく、インバータ2に入力される直流電圧V<sub>DC</sub>と、インバータ制御器6から出力されるインバータ制御信号S<sub>cp</sub>であるPWM信号のパルス幅とに基づいて、インバータ2の出力電圧V<sub>d</sub>を算出する方法も考えられる。

【0077】上記開閉スイッチ10は、上記出力電流検出手段3からの駆動電流検出信号D<sub>cd</sub>が入力される第1の入力側接点10aと、上記出力電圧検出手段4からの駆動電圧検出信号D<sub>vd</sub>が入力される第2の入力側接点10bと、上記駆動電流検出信号D<sub>cd</sub>をピストン速度検出手段8へ出力するための第1の出力側接点10cと、上記駆動電圧検出信号D<sub>vd</sub>をピストン速度検出手段8へ出力するための第2の出力側接点10dとを有し、上記タイミング検知手段7からの検知出力であるスイッチ制御信号S<sub>cs</sub>に基づいて、上記第1の入力側接点10aと第1の出力側接点10cとの間、及び上記第2の入力側接点10bと第1の出力側接点10dとの間を導通状態あるいは非導通状態とするものである。

【0078】上記タイミング検知手段7は、上記電流センサ9からの駆動電流モニタ信号S<sub>cm</sub>に基づいて、リニアコンプレッサ駆動電流I<sub>d</sub>の位相が、90°及び270°の少なくとも一方と一致する位相タイミングを検知し、この位相タイミングにて上記開閉スイッチ10の第1、第2の入力側接点10a、10bと第1、第2の出力側接点10c、10dとを導通状態とするスイッチ制御信号S<sub>cs</sub>を該開閉スイッチ10に出力するものである。このタイミング検出器7は、インバータ出力電流（リニアコンプレッサ駆動電流）I<sub>d</sub>が正弦波であることから、位相が90°もしくは270°のとき極値をとることを利用し、駆動電流の位相が90°及び270°の少なくとも一方と一致する位相タイミングを、駆動電流V<sub>d</sub>が波高値（最大振幅）をとる位相タイミングとして検出するものである。

【0079】最後に、ピストン速度算出手段8について詳しく説明する。このピストン速度算出手段8は、タイミング検知器7によって検知された位相タイミングで、出力電流検出手段3からの駆動電流検出信号D<sub>cd</sub>、及び出力電圧検出手段4からの駆動電圧検出信号D<sub>vd</sub>を受け、該位相タイミングにおけるインバータ出力電流I<sub>d</sub>及びインバータ出力電圧V<sub>d</sub>の瞬時値と、リニアモータの推力定数とから、一定の角速度で往復運動するピストンの速度の最大振幅（ピストン速度の絶対値の最大値）を算出し、該ピストン速度の最大振幅を示すピストン速度情報I<sub>pve</sub>を出力するものである。

【0080】続いて、上記ピストン速度算出手段8での演算処理について、図と数式を用いて具体的に説明する。図3は、リニアコンプレッサがピストン運動の共振状態で駆動されているリニアコンプレッサの共振駆動状

態を説明するための図であり、共振駆動状態にて、駆動電流I<sub>d</sub>、ピストン速度（往復動速度）v、ピストン変位量x'、及びピストン加速度aが変化する様子を示している。ここで、上記ピストン変位量x'は、図9に示すピストン振幅中心位置P<sub>av</sub>に対するピストン位置の変位量である。

【0081】リニアコンプレッサ100に供給されるインバータ出力電流（リニアモータ駆動電流）I<sub>d</sub>は、ピストンに加えられる力に比例するため、リニアコンプレッサ100の共振駆動状態では、リニアモータ駆動電流I<sub>d</sub>の位相は、ピストン速度vの位相等しくなる。また、ピストン変位量x'、及びピストン加速度aはそれぞれ、ピストン速度vに対する積分値、及び微分値に対応するものであるため、リニアコンプレッサの共振駆動状態では、ピストン変位量x'は、その位相がピストン速度vの位相に対して90°遅れたものとなり、ピストン加速度aは、その位相がピストン速度vの位相に対して90°進んだものとなる。

【0082】また、ピストンの運動方程式としては、従来の技術で説明したように、リニアモータの等価回路

（図8参照）からキルヒホッフの法則により導かれる

（1）式が成立するが、特に、リニアコンプレッサの共振駆動状態におけるピストンの運動方程式としては、上記式（1）に代えて下記の式（5）が成立する。

【数5】

$$v_m = \frac{1}{\alpha} (V_1 - R \times I_1) \quad \dots (5)$$

簡単に説明すると、図3に示すように、リニアコンプレッサ100がピストン往復運動の共振状態で駆動されている共振駆動状態では、リニアモータ駆動電流I<sub>d</sub>の位相はピストン速度vの位相等しくなる。例えば、駆動電流I<sub>d</sub>の位相が90°もしくは270°であるとき、ピストン速度vの位相もまた90°もしくは270°である。

【0083】つまり、このリニアコンプレッサ100の共振駆動状態では、タイミング検知手段7にて検知された位相タイミング（駆動電流I<sub>d</sub>の位相が90°あるいは270°となるタイミング）では、ピストン速度vは最大値もしくは最小値、つまりピストン速度の絶対値が最大となり、また、駆動電流I<sub>d</sub>も極大値もしくは極小値をとる。このため、駆動電流I<sub>d</sub>の微分値はゼロとなり、式（1）の右辺第三項の値はゼロとなる。

【0084】従って、リニアコンプレッサが共振駆動状態であるとき、（1）式の右辺第三項を削除して得られる（5）式が成立する。なお、上記（5）式における変数V及び変数Iはそれぞれ、インバータ出力電圧V<sub>d</sub>の測定値V、及びインバータ出力電流I<sub>d</sub>の測定値Iである。この（5）式に基づいて、リニアコンプレッサの駆動電流の位相が90°もしくは270°であるタイミングでのインバータ出力電圧V<sub>d</sub>（測定値V）の瞬時値V



1 [V] と、このタイミングでのインバータ出力電流  $I_d$  (測定値  $I$ ) の瞬時値  $I_1$  [A] と、リニアモータを構成する巻線の等価抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] と、モータの推力定数  $\alpha$  [N/A] とから、ピストン速度  $v$  の最大振幅 (最大値または最小値)  $v_0$  [m/s] が求められる。

【0085】なお、本実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101は、該リニアコンプレッサ駆動装置101を構成する各手段3～5, 7, 8, 及びインバータ制御器6は、ソフトウェアにより構成したものである。但し、これらの手段3～5, 7, 8, 及びインバータ制

御器6は、ハードウェアにより構成したものであってもよい。

【0086】また、上記実施の形態1の説明では、分りやすくするため、リニアコンプレッサ駆動装置101はハードウェアの開閉スイッチ10を有するものとしているが、上記各手段3～8をソフトウェアにより構成した場合は、開閉スイッチ10を用いずにリニアコンプレッサ駆動装置101を構成可能である。

【0087】例えば、上記開閉スイッチ10を用いる代わりに、上記出力電流検出手段3及び出力電圧検出手段4を、上記タイミング検知手段7が、リニアコンプレッサ駆動電流  $I_d$  の位相が  $90^\circ$  及び  $270^\circ$  の少なくとも一方と一致する位相タイミングを検知したときのみ動作して、上記駆動電流検出信号  $Dcd$  及び駆動電圧検出信号  $Dvd$  をピストン速度検出手段8に出力するものとしてもよい。

【0088】次に動作について説明する。インバータ制御器6では、共振周波数情報出力手段5から出力される共振周波数情報  $Irf$  に基づいてパルス幅が調整されたパルス信号  $Scp$  が生成され、該パルス信号  $Scp$  がインバータ制御信号としてインバータ2に供給される。ここで、上記パルス信号  $Scp$  のパルス幅は、リニアコンプレッサ100がピストン往復運動の共振状態で駆動されるよう調整される。

【0089】上記インバータ2にパルス信号  $Scp$  が供給されると、上記インバータ2では、該パルス信号  $Scp$  に基づいて、電源1から供給される直流電圧  $V_{in}$  から、周波数が上記共振周波数  $F_r$  と一致した交流電圧  $V_d$  が生成され、該交流電圧  $V_d$  がリニアコンプレッサ100のリニアモータにその駆動電圧として印加される。

【0090】例えば、上記インバータ2として、図2(a)に示す電圧型フルブリッジインバータ21が用いられている場合、上記インバータ制御器6からのパルス信号  $Scp$  は、インバータ21における各スイッチング回路21a～21dを構成するNPNトランジスタ (スイッチング素子)  $S_1$  のベースに印加される。すると、該インバータ21では、第1及び第4のスイッチング回路21a及び21dのスイッチング素子  $S_1$  のオンオフ動作と、第2及び第3のスイッチング回路21b及び21cのスイッチング素子  $S_1$  のオンオフ動作とが相補的に

われる。これにより、第1の直列接続回路C1aの接続ノードN1aと第2の直列接続回路C1bの接続ノードN1bとの間にインバータ出力電圧  $I_d$  としての交流電圧が発生し、この交流電圧  $I_d$  はリニアコンプレッサ100のリニアモータに駆動電圧として印加される。

【0091】リニアコンプレッサ100では、リニアモータに駆動電圧  $I_d$  が印加されると、ピストンの往復運動が開始され、その後、リニアコンプレッサ100の駆動状態が安定したとき、該リニアコンプレッサ100は、一定の負荷条件の下では、ピストン往復運動が共振状態である共振駆動状態となる。このとき、リニアコンプレッサに供給される駆動電流  $I_d$  は、電流センサ9によりモニタされており、該電流センサ9からは、電流モニタ出力 (駆動電流モニタ信号)  $Scm$  が、出力電流検出手段3及びタイミング検知手段7に出力される。

【0092】すると、出力電流検出手段3では、電流センサ9からの電流モニタ出力  $Scs$  に基づいて、インバータ出力電流、つまりリニアコンプレッサ100の駆動電流  $I_d$  が検出され、検出出力 (駆動電流検出信号)  $Dcd$  が上記開閉スイッチ10の第1の入力側接点10aに出力される。また、出力電圧検出手段4ではインバータ出力電圧  $V_d$  が検出され、その検出出力 (駆動電圧検出信号)  $Dvd$  が上記開閉スイッチ10の第2の入力側接点10bに出力される。

【0093】上記タイミング検知手段7では、上記電流センサ9からの電流モニタ出力  $Scm$  に基づいて、駆動電流  $I_d$  の位相が  $90^\circ$  あるいは  $270^\circ$  になる位相タイミングが検出され、この位相タイミングにて上記開閉スイッチ10の第1及び第2の入力側接点10a及び10bと、対応する第1及び第2の出力側接点10c及び10dとを導通状態とするスイッチ制御信号  $Scs$  が該開閉スイッチ10に出力される。

【0094】上記開閉スイッチ10では、上記スイッチ制御信号  $Scs$  により、上記位相タイミングで、対応する入力側接点と出力側接点とが導通状態となり、上記駆動電流  $I_d$  及び駆動電圧  $V_d$  の、上記位相タイミングでの値 (瞬時値)  $I_1$  及び  $V_1$  がピストン速度算出手段8に出力される。ピストン速度算出手段8では、上記(5)式に基づいて、上記位相タイミングでの駆動電流及び駆動電圧の瞬時値  $I_1$  及び  $V_1$  から、ピストン速度の波高値  $v_m$  が算出され、該波高値を示すピストン速度情報  $I_{pve}$  が出力される。

【0095】このように、本実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101では、リニアコンプレッサ100をピストン往復運動が共振状態となる共振駆動状態で駆動し、この運転状態でリニアコンプレッサ駆動電流  $I_d$  の位相が  $90^\circ$  もしくは  $270^\circ$  となるときの駆動電圧の瞬時値  $V_1$  [V] 及び駆動電流の瞬時値  $I_1$  [A] を測定し、測定された駆動電圧の瞬時値  $V_1$  [V] 及び駆動電流の瞬時値  $I_1$  [A] と、リニアモータの巻線の

等価抵抗 $R$  [ $\Omega$ ] 及びモータの推力定数 $\alpha$  [ $N/A$ ] とを用いて、所定の関数式に基づいてピストン速度の最大振幅 $v_m$  [ $m/s$ ] を求めるので、リニアコンプレッサ駆動電流の測定値に基づいて微分演算を行ってピストン速度を求める場合に比べて、駆動電流の測定回数を低減することができ、最低でも、駆動電流の1周期に1度、該駆動電流と駆動電圧を測定するだけで、ピストン速度の最大振幅 $v_m$  [ $m/s$ ] を求めることができる。

【0096】また、実施の形態1では、駆動電流 $I_d$ の位相が $90^\circ$  もしくは $270^\circ$  であるときの駆動電流の瞬時値 $I_1$  [ $A$ ] 及び駆動電圧の瞬時値 $V_1$  [ $V$ ] を用いた四則演算によりピストン速度の最大振幅 $v_m$ を算出するため、ピストン速度の最大振幅の算出処理では駆動電流の微分演算を行う必要がない。このため、微分器に起因する計算誤差を排除して、ピストン速度の計算精度を高めることができる。

【0097】なお、上記実施の形態1では、タイミング検知手段7は、インバータ出力電流（リニアコンプレッサ駆動電流） $I_d$ の位相が $90^\circ$  及び $270^\circ$  の少なくとも一方となる位相タイミングを検知するものとなっているが、タイミング検知器7は、リニアコンプレッサ100の駆動電流 $I_d$ の変化量がゼロとなる位相タイミングを検出するものであってもよい。

【0098】この場合も、タイミング検知器7は、位相タイミングとして、駆動電流（インバータ出力電流） $I_d$ の瞬時値が波高値（最大振幅）となる位相タイミングを出力することとなる。これは、駆動電流が正弦波であることから、駆動電流の位相が $90^\circ$  もしくは $270^\circ$  のとき、該駆動電流は極値となるためである。

【0099】また、上記駆動電流（インバータ出力電流） $I_d$ がその波高値となるタイミングを検出する方法としては、常にインバータ出力電流の値をモニタし、その値の変化の方向が変わる位相タイミング、つまり出力電流値の変化が増加から減少に、あるいは減少から増加に切り替わる位相タイミングを検出する方法も考えられる。

【0100】さらに、上記実施の形態1では、上記タイミング検知手段7は、電流センサ9のモニタ出力 $S_{cm}$ に基づいて、インバータ2の出力電流の位相が $90^\circ$  もしくは $270^\circ$  となる位相タイミングを検出するものであるが、該タイミング検知手段7は、インバータ制御器6から出力されるインバータ2の制御信号であるパルス信号 $S_{cp}$ に基づいて、インバータ2の出力電流 $I_d$ の位相が $90^\circ$  もしくは $270^\circ$  となる位相タイミングを検出するものであってもよい。

【0101】但しこの場合、インバータ制御器6から出力されるインバータ2の制御信号（パルス信号） $S_{cp}$ から理論的に決定されるインバータ出力電流の位相は、実際にインバータ2から出力されている出力電流 $I_d$ の位相に対して、制御誤差に相当する分だけずれている可能

性がある。

【0102】そこで、インバータ制御器6からのインバータ制御信号 $S_{cp}$ に基づく理想的なインバータ出力電流の位相と、実際にインバータ2から出力されている出力電流 $I_d$ の位相との誤差を検出し、該検出された位相誤差に基づいて、インバータ制御器6からのインバータ制御信号 $S_{cp}$ の位相を補正する方法が考えられる。ここで、位相誤差を検出する具体的な方法としては、実際にインバータ2から出力されている出力電流 $I_d$ のゼロクロス点の位相タイミングを測定し、その位相タイミングと、インバータ制御器6からのインバータ制御信号 $S_{cp}$ の位相が $0^\circ$  もしくは $180^\circ$  となる位相タイミングとの誤差を計測する方法が考えられる。

【0103】また、上記実施の形態1では、ピストン速度算出手段8での演算処理に使用するリニアモータの内部抵抗値 $R$ は、あらかじめ測定した既定値としているが、上記内部抵抗値 $R$ は、温度補正処理を施したものであってもよい。

【0104】簡単に説明すると、実際にはリニアモータの温度が上昇するにつれて、リニアモータの内部抵抗値 $R$ が増加する。そこで、リニアモータの温度を測定し、予め測定した内部抵抗値を温度補正した値を、上記ピストン速度算出処理にて用いることにより、ピストン速度の波高値としてより正確な値を得ることができる。

【0105】ここで、この内部抵抗値を温度補正する具体的な方法としては、リニアモータの巻線として使用する導体の温度とその抵抗値との関係を示すテーブルを用いる方法や、内部抵抗値を温度補正するための計算式を用いる方法が考えられる。例えば、リニアモータの巻線が、一般に使用される銅線である場合、 $20^\circ C$ で測定された抵抗値 $R_{20}$ に対して、 $t^\circ C$ のときの抵抗値 $R_t$ は、下記の（6）式により、求めることができる。

【数6】

$$R_t = R_{20} [1 + 0.00393 \times (t - 20)] \quad \dots (6)$$

また、上記実施の形態1では、ピストン速度算出手段8での演算処理に使用するリニアモータの推力定数は、あらかじめ測定した既定値としているが、上記推力定数は、リニアコンプレッサの運転状態に応じて補正処理を施したものであってもよい。例えば、上記推力定数は、リニアモータの温度に応じた補正処理を施したものであってもよい。つまり、実際にはリニアモータの温度が上昇するにつれて、推力定数は減少する。これは、リニアモータに使用されている磁性体の磁束密度が温度上昇によって減少するからである。そこで、リニアモータの温度を測定し、予め測定した推力定数を温度補正した値を、上記ピストン速度算出処理にて用いることにより、ピストン速度の波高値としてより正確な値を得ることができる。ここで、上記推力定数を温度補正する具体的な方法としては、使用する磁性体の温度と磁束密度の関係を示すテーブルを用いる方法が考えられる。



【0106】また、上記推力定数は、リニアモータの運転速度（角速度）に応じた補正処理を施したものであってもよい。つまり、実際にはリニアモータの推力定数は、リニアモータの運転速度（角速度）が上昇するにつれて減少する。そこで、ピストン速度の演算処理を繰り返すピストン速度算出手段8は、繰り返される個々の演算処理では、前回のピストン速度の算出処理により求められたピストン速度に基づいて、上記リニアモータの推力定数を補正し、該補正された推力定数を用いてピストン速度の算出を行うものであってもよい。ここで、

上記推力定数の具体的な補正方法としては、実験値から求められたモータの運転速度と推力定数の関係を示すテーブルを用いて、リニアモータの推力定数を補正する方法が考えられる。

【0107】（実施の形態2）図4は本発明の実施の形態2によるリニアコンプレッサ駆動装置を説明するためのブロック図である。この実施の形態2のリニアコンプレッサ駆動装置102は、実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101において、上記ピストン速度算出手段8により求められたピストン速度の波高値 $v_0$ 、及び上記インバータ制御器6により決定されるインバータ駆動周波数 $F_d$ に基づいて、ピストン往復運動のストロークを算出し、該ピストンストロークを示すピストンストローク情報 $I_{pst}$ を出力するピストンストローク算出手段41を備えたものである。この実施の形態2のインバータ制御器6は、上記共振周波数情報 $I_{rf}$ に基づいてインバータ2をスイッチングするPWM信号 $S_{cp}$ のパルス幅を調整し、該パルス幅の調整されたPWM信号 $S_{cp}$ をインバータ駆動制御信号として出力するとともに、該PWM信号 $S_{cp}$ のパルス幅により決まる上記インバータ2の出力電圧及び出力電圧の周波数を上記インバータ駆動周波数 $F_d$ として示す情報（インバータ駆動周波数情報） $I_{df}$ を、上記ピストンストローク算出手段41に出力するものである。なお、上記インバータ駆動周波数 $F_d$ は理想的には共振周波数情報 $F_r$ と一致したものとなる。またここでは、上記ピストンストローク算出手段41はソフトウェアにより構成したものである。但し、このピストンストローク算出手段41は、ハードウェアにより構成したものであってもよい。

【0108】次に動作について説明する。この実施の形態2のリニアコンプレッサ駆動装置102における、上記インバータ制御器6及びピストンストローク算出手段41以外の部分の動作は、上記実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101におけるものと同一であるため、以下では、主に上記インバータ制御器6及びピストンストローク算出手段41の動作について説明する。

【0109】リニアコンプレッサ100内で往復運動するピストン72の位置は、ピストン72が圧縮される冷媒ガスの圧力を受けることから、時間を変数とする正弦波関数により表される。従って、ピストン往復運動の角

速度を $\omega$  [rad/sec]、ピストンの変位の最大振幅を $x_m$  [m]、ピストン振幅中心位置 $P_{av}$ （図9参照）を基準としたピストン変位量（時間 $t$ にてピストンが位置する地点とピストン振動中心位置との距離）を $x(t)$  [m] とすると、ピストン変位量 $x(t)$ は、時間 $t$  [sec] を変数として、下記の（7）式により表される。

【数7】

$$x(t) = x_m \times \sin \omega \cdot t \quad \dots (7)$$

また、ピストン速度も、時間を変数とする正弦波関数により表される。従って、前記ピストン変位量と同様に、ピストン往復運動の角速度を $\omega$  [rad/sec]、ピストン速度の最大振幅を $v_m$  [m/s]、ピストン瞬時速度（時間 $t$ におけるピストンの速度）を $v(t)$  [m/s] とすると、ピストン瞬時速度 $v(t)$ は、時間 $t$  [sec] を変数とする正弦波関数により、下記の（8）式により表される。

【数8】

$$v(t) = v_m \times \sin \omega \cdot t \quad \dots (8)$$

また、ピストン変位量 $x(t)$ は、ピストン速度 $v(t)$ の積分値であることから、時間を変数としてピストン変位量を表す関数式として、上記（8）式より下記の（9）式が導かれる。

【数9】

$$\begin{aligned} x(t) &= \int v(t) dt \\ &= \frac{v_m}{\omega} \times (-\sin \omega \cdot t) \quad \dots (9) \end{aligned}$$

そして、（7）式と（9）式とからピストン変位量 $x(t)$ を消去すると、ピストン変位量の最大振幅 $x_m$ は、ピストン速度の最大振幅 $v_m$ により、 $x_m = -v_m / \omega$ と表せる。従って、ピストン変位量の最大振幅 $x_m$  [m] は、ピストン速度の最大振幅 $v_m$  [m/s] を、動作角速度 $\omega$  [rad/sec] により除算することによって求めることができる。

【0110】つまり、インバータ制御器6では、上記共振周波数情報 $I_{rf}$ に基づいてインバータ2をスイッチングするPWM信号 $S_{cp}$ のパルス幅が調整され、該パルス幅の調整されたPWM信号 $S_{cp}$ がインバータ駆動制御信号としてインバータ2に出力されるとともに、該PWM信号 $S_{cp}$ のパルス幅により決まる上記インバータ2の出力電圧及び出力電圧の周波数を上記インバータ駆動周波数 $F_d$ として示す情報（インバータ駆動周波数情報） $I_{df}$ が、上記ピストンストローク算出手段41に出力される。

【0111】すると、ピストンストローク算出手段41では、ピストン速度算出手段8からのピストン速度情報 $I_{pve}$ 及びインバータ制御器6から出力されるインバータ駆動周波数情報 $I_{df}$ を受け、ピストン速度情報 $I_{pve}$ が示すピストン速度の最大振幅 $v_m$  [m/s] を、ピス

トン往復運動の角速度 $\omega$  [rad/sec] により除算する演算処理が行われる。これによりピストン変位量の最大振幅 $x_m$  [m] が算出される。なお、ここで、ピストン往復運動の角速度 $\omega$  [rad/sec] は、上記インバータ駆動周波数情報 $I_{df}$ が示すインバータ2の出力電圧及び出力電圧の周波数 $F_d$  [Hz] に $2\pi$ を乗ずることにより得られる。

【0112】そして、該算出手段41からは、上記演算処理により得られたピストン変位量の最大振幅 $x_m$

[m] を示す情報として、ピストン往復運動におけるピストンストローク（該振幅最大値 $x_m$ の2倍）を示すピストンストローク情報 $I_{pst}$ が出力される。

【0113】このように本実施の形態2のリニアコンプレッサ駆動装置102では、実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101において、上記ピストン速度算出手段8により求められたピストン速度の波高値 $v_m$ 、及びリニアコンプレッサの共振周波数 $F_r$ から決定されるインバータ駆動周波数 $F_d$ に基づいて、ピストンストロークを算出するピストンストローク算出手段41を備えたので、このピストンストロークに基づいて、リニアコンプレッサにおけるピストンとシリンダヘッドとの衝突の危険度を判定することができる。

【0114】なお、上記実施の形態2では、リニアコンプレッサ駆動装置102として、実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101において、ピストンストロークを算出する手段41を備えたものを示したが、リニアコンプレッサ駆動装置は、実施の形態2のリニアコンプレッサ駆動装置102において、さらにピストンの下死点位置 $P_{bd}$ （図9参照）を示す情報として、シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ からピストン下死点位置 $P_{bd}$ までの距離（つまり図9に示す第3の座標系 $X''$ での変位量 $x_{bd}''$ ）の情報を出力する下死点位置情報出力手段と、上記ピストンストローク情報及び上記下死点位置情報に基づいて四則演算を行う演算手段とを備えたものであってもよい。

【0115】この場合、上記演算手段により、上記ピストンストローク情報が示すストローク値の半分の値（ $L_{ps}/2$ ）を、上記下死点位置情報が示す値 $x_{bd}''$ （図9参照）から減算することにより、ピストン振幅中心位置 $P_{av}$ を示す第3の座標系 $X''$ におけるピストン変位量 $x_{av}''$ （図9参照）を算出することができる。さらに、この場合、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することにより、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる。

【0116】また、上記演算手段により、上記下死点位置情報が示す値 $x_{bd}''$ （図9参照）から、ピストンストローク情報が示すピストンストローク値（ $L_{ps}$ ）そのものを減ずることにより、ピストン上死点位置 $P_{td}$ を示す第3の座標系 $X''$ におけるピストン変位量 $x_{td}''$ （図9

参照）を算出することができる。この変位量 $x_{td}''$ は、シリンダヘッドからピストン上死点位置までの距離であるため、該変位量からピストンとシリンダヘッドの衝突の可能性を判定することができ、ピストンとシリンダヘッドとの衝突を回避するのに役立てることができる。

【0117】ここで、上記下死点位置情報出力手段の具体的構成としては、例えば、ピストンに設定されている規定の測定点が最もシリンダヘッドから遠ざかったときの位置をピストン下死点位置として測定し、該測定値を、シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ からピストン下死点位置 $P_{bd}$ までの距離を示す情報として出力する下死点位置センサを用いてもよい。また、この下死点位置センサは、ピストン下死点位置のみ検知可能な測定レンジ幅の狭い短いレンジの位置センサや、ピストンの測定点が所定位置を超えてシリンダヘッドから遠ざかったかどうかを検知するような簡易的な位置センサでもよい。

【0118】さらに、上記下死点位置情報出力手段は、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ を基準として上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を出力するものであってもよい。

【0119】またさらに、上記下死点位置情報出力手段は、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅と、上記リニアコンプレッサにおける、上記ピストン往復運動を行う可動部の重量と、上記弾性部材のバネ定数とから、上記下死点位置情報として、上記ピストンの中立位置を基準として上記ピストン下死点位置を示す位置情報を算出するものであってもよい。この場合の下死点位置情報出力手段の具体的構成については、以下の実施の形態3における下死点位置算出手段51（図5参照）として説明する。

【0120】また、上記リニアコンプレッサ駆動装置は、実施の形態2のリニアコンプレッサ駆動装置102において、さらにピストンの上死点位置 $P_{td}$ （図9参照）を示す情報として、シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ からピストン上死点位置 $P_{td}$ までの距離（図9に示す第3の座標系 $X''$ での変位量 $x_{td}''$ ）の情報を出力する上死点位置情報出力手段と、上記ピストンストローク情報及び上記上死点位置情報に基づいて四則演算を行う演算手段とを備えたものであってもよい。

【0121】この場合、上記演算手段により、上記ピストンストローク情報が示すストローク値の半分の値（ $L_{ps}/2$ ）を、上死点位置情報が示す値 $x_{td}''$ （図9参照）に加算することにより、ピストン振動中心位置 $P_{av}$ を示す第3の座標系 $X''$ における変位量 $x_{av}''$ （図9参照）を算出することができる。

【0122】また、上記演算手段により、上記上死点位置情報が示す値 $x_{td}$ ”（図9参照）に、上記ピストンストローク情報が示すピストンストローク値（ $L_{ps}$ ）を加えることにより、ピストン下死点位置 $P_{bd}$ を示す第3の座標系 $X$ ”における変位置量 $x_{pd}$ ”（図9参照）を算出することができる。この変位置量 $x_{bd}$ ”は、シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ からピストン下死点位置 $P_{bd}$ までの距離であるため、該変位置量 $x_{bd}$ ”は、該共振バネが破壊限界以上に変形されないようにするリニアコンプレッサの駆動制御に役立てることができる。

【0123】ここで、上記上死点位置情報出力手段の具体的構成としては、例えば、ピストンに設定されている規定の測定点が最もシリンダヘッドに近づいたときの位置をピストン上死点位置として測定し、該測定値を、シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ からピストン上死点位置 $P_{td}$ までの距離を示す情報として出力する上死点位置センサを用いてもよい。また、この上死点位置センサは、ピストン上死点位置のみ検知可能な測定レンジ幅の狭い短いレンジの位置センサや、ピストンの測定点が所定位置を超えてシリンダヘッドに近づいたかどうかを検知するような簡易的な位置センサでもよい。

【0124】さらに、上記リニアコンプレッサ駆動装置は、実施の形態2のリニアコンプレッサ駆動装置102において、ピストン振幅中心位置 $P_{av}$ （図9参照）を示す情報として、シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ からピストン振幅中心位置 $P_{av}$ までの距離（図9に示す第3の座標系 $X$ ”での変位置量 $x_{av}$ ”）を出力する振幅中心位置情報算出手段と、上記ピストンストローク情報及び上記振幅中心位置情報に基づいて四則演算を行う演算手段とを備えたものであってもよい。

【0125】この場合、上記演算手段により、上記ピストンストローク情報が示すストローク値の半分の値（ $L_{ps}/2$ ）を、上記振幅中心位置情報が示す値 $x_{av}$ ”（図9参照）に加えることにより、ピストン下死点位置 $P_{bd}$ を示す第3の座標系 $X$ ”における変位置量 $x_{pd}$ ”（図9参照）を算出することができる。また、逆に、上記演算手段により、振幅中心位置情報が示す値 $x_{av}$ ”（図9参照）から上記ピストンストローク情報が示すストローク値の半分の値（ $L_{ps}/2$ ）を減算することにより、ピストン上死点位置 $P_{td}$ を示す第3の座標系 $X$ ”における変位置量 $x_{td}$ ”（図9参照）を算出することができる。

【0126】なお、上記振幅中心位置を示す情報（シリンダヘッド位置 $P_{sh}$ からピストン振幅中心位置 $P_{av}$ までの距離）を算出する手法としては、リニアコンプレッサの吐出圧力と吸入圧力の圧力差と、ピストンのボア断面積とから、ピストンにかかるガス圧による力を計算し、ピストン振幅中心位置を計算する方法もある。また、上記圧力差を用いる振幅中心位置情報の算出手段では、この圧力差だけでなく、リニアコンプレッサの運転周波数 $\omega$ を加味して、ピストンにかかるガス圧による力を計算

することにより、ピストン振幅中心位置情報としての距離情報をさらに精度良く計算することができる。

【0127】また、上記実施の形態2では、ピストン速度算出手段での演算処理に使用するリニアモータの推力定数は、あらかじめ測定した既定値としているが、上記推力定数は、ピストン振幅中心位置に応じて補正処理を施したものであってもよい。つまり、実際にはリニアモータの巻線とマグネットとの間の磁束密度は、リニアモータの巻線とマグネットとの位置関係によって増減する。これは、リニアモータに印加される電流によって生じる磁界がマグネットの磁界を増減するからである。

【0128】そこで、上記振幅中心位置情報算出手段は、繰り返し行われる個々の振幅中心位置情報の算出処理では、上記推力定数の値を、該前回の算出処理により算出された振幅中心位置情報に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上記振幅中心位置情報を算出するものであってもよい。

【0129】また、上記ピストンストローク算出手段8を、上記ピストン速度の最大振幅に基づいて上記ピストンストローク情報を算出する算出処理を繰り返し行い、該繰り返しされる個々の算出処理では、上記リニアモータの、該ピストン位置の変化によりその値が変動する推力定数の値を、該前回の算出処理により算出されたピストンストローク情報に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上記ピストンストローク情報を算出するものとしてもよい。この場合、ピストンストロークとしてより正確な値を算出することができる。

【0130】（実施の形態3）図5は本発明の実施の形態3によるリニアコンプレッサ駆動装置を説明するためのブロック図である。また、図10は、ピストン位置をピストン中立位置を基準として示す座標系 $Y$ ”を、ピストン位置をシリンダヘッド位置 $P_{sh}$ を基準として示す座標系 $X$ ”（図9の第3の座標系）と対比させて示している。

【0131】この実施の形態3のリニアコンプレッサ駆動装置103は、上記実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101において、上記ピストン速度算出手段8により求められたピストン速度の波高値 $v_m$ 、及び上記インバータ制御器6により決定されるインバータ駆動周波数 $F_d$ に基づいて、ピストン中立位置 $P_{av}$ とピストン下死点位置 $P_{bd}$ との間の距離情報として、ピストン中立位置 $P_{av}$ を基準とするピストン下死点位置 $P_{bd}$ の変位置量 $y_{bd}$ ”（図10参照）を算出し、この距離情報をピストン下死点位置情報 $I_{bdc}$ として出力する下死点位置算出手段51を備えたものである。ここで、上記ピストン中立位置 $P_{av}$ は、支持バネが変形していないときのピストン72の、ピストン軸線上での位置である。また、この実施の形態3のインバータ制御器6は、上記共振周波数情報 $I_{rf}$ に基づいてインバータ2をスイッチングするPWM信号 $S_{cp}$ のパルス幅を調整し、該パルス幅の調整

されたPWM信号S<sub>cp</sub>をインバータ駆動制御信号としてインバータ2に出力するとともに、該PWM信号S<sub>cp</sub>のパルス幅により決まる上記インバータ2の出力電圧及び出力電圧の周波数を上記インバータ駆動周波数F<sub>d</sub>として示す情報（インバータ駆動周波数情報）I<sub>df</sub>を、上記下死点位置算出手段51に出力するものである。

【0132】なお、上記インバータ駆動周波数F<sub>d</sub>は理想的には共振周波数情報F<sub>r</sub>と一致したものとなる。またここでは、上記下死点位置算出手段51はソフトウェアにより構成したものである。但し、この下死点位置算出手段51は、ハードウェアにより構成したものであってもよい。

【0133】次に動作について説明する。この実施の形態3のリニアコンプレッサ駆動装置103における、上記インバータ制御器6及び下死点位置算出手段51以外の部分の動作は、実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101におけるものと同一であるため、以下では、主に上記インバータ制御器6及び下死点位置算出手段51の動作について説明する。

【0134】上記リニアコンプレッサ103のリニアモータによるピストンの往復運動についての運動方程式として、下記の(10)式が成立する。

$$\text{【数10】} \quad m \times a + k \times y'' = \alpha \times I - \beta (P(t) - P_s) \quad \dots (10)$$

(10)式において、mは往復運動している可動部材の全質量[kg]であり、aは該往復運動している可動部材の瞬時加速度[m/s/s]である。また、kはリニアコンプレッサに組み込まれている支持バネのバネ定数[N/m]、y''はバネが変形していない状態での可動部材の位置（ピストン中立位置）P<sub>ini</sub>に対する可動部材の変位量[m]、αはリニアモータの推力定数[N/A]、Iはリニアモータに印加する駆動電流の測定値[A]、βはピストンボアの断面積[m・m]、P(t)は圧縮室内部の圧力[Pa]、P<sub>s</sub>はピストン背面側のガス圧力（吸入圧）[Pa]である。

【0135】リニアコンプレッサ103がピストン往復運動の共振状態で駆動されているときには、ピストンが下死点位置にきたとき、圧縮室内部の圧力は吸入圧に等しくなるので、この時点では、ピストン運動を表す運動方程式（(10)式）における右辺第2項はゼロとなる。また、図3に示すように、下死点位置、つまりピストン変位量が最大となるとき、加速度も最大となり、リニアモータの駆動電流I<sub>d</sub>はゼロとなる。

【0136】従って、(10)式の左辺第1項の加速度aは加速度最大値（a=a<sub>m</sub>）、その左辺第2項の変数y''は下死点位置の変位量（y''=y<sub>bd</sub>''）、その右辺第1項及び右辺第2項はゼロ（I=0）となり、(10)式に代わって、(11)式が成立する。

【数11】

$$m \times a_m + k \times y_{bd}'' = 0 \quad \dots (11)$$

(11)式において、a<sub>m</sub>はピストン加速度の最大値[m/s/s]、y<sub>bd</sub>''はピストン中立位置P<sub>ini</sub>を基準として表される下死点位置の変位量[m]である。従って、ピストン加速度の最大値a<sub>m</sub>[m/s/s]が求まれば、(11)式により、下死点位置を示す変位量y<sub>bd</sub>''（図10参照）[m]は求めることができる。

【0137】次に、ピストン加速度の最大値a<sub>m</sub>[m/s/s]の求め方について説明する。ピストン加速度aは、上記実施の形態2で説明したピストン変位量x(t)及びピストン速度v(t)と同様、時間tを変数とする正弦波関数により表される。具体的には、ピストン運動の角速度をω[rad/sec]、ピストン加速度の振幅最大値をa<sub>m</sub>[m/s/s]、ピストン加速度の瞬時値をa(t)[m/s/s]とすると、加速度は速度の微分値であることから、ピストン加速度は時間t[sec]を変数として(12)式により表される。

【0138】

【数12】

$$\begin{aligned} a(t) &= a_m \times \cos \omega \cdot t \\ &= (v(t))' \\ &= \omega \times v_m \times \cos \omega \cdot t \end{aligned} \quad \dots (12)$$

(12)式から、a<sub>m</sub>=v<sub>m</sub>×ωという関係が成り立つことは明らかであるので、ピストン加速度の最大値a<sub>m</sub>[m/s/s]はピストン速度の振幅最大値v<sub>m</sub>[m/s]とピストン運動の角速度ω[rad/sec]の積によって求められる。

【0139】本実施の形態3のインバータ制御器6では、上記共振周波数情報I<sub>rf</sub>に基づいてインバータ2をスイッチングするPWM信号S<sub>cp</sub>のパルス幅が調整され、該パルス幅の調整されたPWM信号S<sub>cp</sub>がインバータ駆動制御信号としてインバータ2に出力されるとともに、該PWM信号S<sub>cp</sub>のパルス幅により決まる上記インバータ2の出力電圧及び出力電圧の周波数を上記インバータ駆動周波数F<sub>d</sub>として示す情報（インバータ駆動周波数情報）I<sub>df</sub>が、上記下死点位置算出手段51に出力される。

【0140】すると、本実施の形態3のリニアコンプレッサ駆動装置103における下死点位置算出手段51では、ピストン速度算出手段8から出力されるピストン速度情報I<sub>pve</sub>及びインバータ制御器6から出力されるインバータ駆動周波数情報I<sub>df</sub>を受け、ピストン速度情報I<sub>pve</sub>が示すピストン速度の最大振幅v<sub>m</sub>[m/s]と、動作角速度ω[rad/sec]（インバータ駆動周波数情報I<sub>df</sub>が示すインバータ駆動周波数F<sub>d</sub>[Hz]に2πを乗じて得られる値）との乗算処理が行われ、該乗算処理により加速度の最大振幅a<sub>m</sub>[m/s/s]が算出される。さらに、上記下死点位置算出手段51では、その加速度の最大振幅a<sub>m</sub>[m/s/s]と可動部材の全質量m[kg]との乗算処理、及び該乗算処理により得られる値を、リニ

アコンプレッサ100の支持バネのバネ定数 $k$  [N/m] によって除算する除算処理が行われ、該除算処理により下死点位置 $P_{bd}$ を示す変位置 $y_{bd}$ " (図10参照) [m] が求められる。そして、下死点位置算出手段51からは、該変位置 $y_{bd}$ " [m] を示す情報が下死点位置情報 $I_{bdc}$ として出力される。

【0141】このように本実施の形態3のリニアコンプレッサ駆動装置103では、ピストン速度算出手段8で得られたピストン速度の最大振幅 $v_m$  [m/s] と、リニアコンプレッサの共振周波数 $F_r$ から決定されるインバータ駆動周波数 $F_d$ とに基づいて、ピストン下死点位置 $P_{bd}$ を示すピストン変位置として、ピストン中立位置 $P_{ini}$ とピストン下死点位置 $P_{bd}$ との距離を示す値 $y_{bd}$ "

[m] を算出する下死点位置算出手段51を備えたので、ピストン下死点位置情報により共振バネのたわみ量を把握することができる。この共振バネのたわみ量は、該共振バネが破壊限界以上に変形されないようにするリニアコンプレッサの駆動制御に役立てることができるものである。

【0142】(実施の形態4) 図6は本発明の実施の形態4によるリニアコンプレッサ駆動装置を説明するためのブロック図である。この実施の形態4のリニアコンプレッサ駆動装置104は、上記実施の形態1のリニアコンプレッサ101と同様、電源1、インバータ2、電流センサ9、出力電流検出手段3、共振周波数情報出力手段5、インバータ制御器6、及びタイミング検知手段7を有するとともに、出力電流検出手段3の検知出力(駆動電流検知信号) $D_{cd}$ に基づいて、ピストン往復運動の中心位置(ピストン振幅中心位置) $P_{av}$ を示す情報として、上記ピストン中立位置 $P_{ini}$ に対するピストン振幅中心位置 $P_{av}$ (図10参照)の変位置 $y_{av}$ " を算出する中心位置算出手段61と、上記中心位置算出手段61への上記駆動電流検知信号 $D_{cd}$ の供給及び供給停止を、上記タイミング検知手段7から出力されるスイッチ制御信号 $S_{cs}$ に基づいて制御する開閉スイッチ11とを有している。

【0143】ここで上記開閉スイッチ11は、上記出力電流検出手段3からの駆動電流検出信号 $D_{cd}$ が入力される入力側接点11aと、上記駆動電流検出信号 $D_{cd}$ を中心位置算出手段61へ出力するための出力側接点11bとを有し、上記タイミング検知手段7からの検知出力であるスイッチ制御信号 $S_{cs}$ に基づいて、上記入力側接点11aと出力側接点11bとの間を導通状態あるいは非導通状態とするものである。

【0144】なお、この実施の形態4では、上記中心位置算出手段61はソフトウェアにより実現したものである。但し、この中心位置算出手段61は、ハードウェアにより構成したものであってもよい。

【0145】次に動作について説明する。この実施の形態4では、上記実施の形態1と同様に、リニアコンプレ

ッサ100では、インバータ2からの交流電圧 $V_d$ の印加によりリニアモータが駆動してピストンの往復運動が行われる。また、上記リニアコンプレッサに印加される交流電流 $V_d$ の周波数は、ピストン往復運動の共振周波数 $F_r$ と一致しているため、リニアコンプレッサ100の運転は、ピストン往復運動の共振状態で行われる。

【0146】このとき、出力電流検出手段3では、電流センサ9からの電流モニタ出力 $S_{cm}$ に基づいて、インバータ出力電流、つまりリニアコンプレッサ100の駆動電流 $I_d$ が検出され、検出出力(駆動電流検出信号) $D_{cd}$ が上記開閉スイッチ11の入力側接点11aに出力される。

【0147】また、上記タイミング検知手段7では、上記電流センサ9からの電流モニタ出力 $S_{cm}$ に基づいて、インバータ駆動電流 $I_d$ の位相が、 $90^\circ$  及び $270^\circ$  の少なくとも一方の位相となる位相タイミングが検出され、この位相タイミングにて上記開閉スイッチ11の入力側接点11aと出力側接点11bとを導通状態とするスイッチ制御信号 $S_{cs}$ が該開閉スイッチ11に出力される。

【0148】上記開閉スイッチ11では、上記スイッチ制御信号 $S_{cs}$ により、上記位相タイミングで、対応する入力側接点と出力側接点とが導通状態となり、上記駆動電流 $I_d$ の、上記位相タイミングでの値(瞬時値) $I_1$ が上記中心位置算出手段61に出力される。

【0149】すると、中心位置算出手段61では、上記位相タイミングでの駆動電流の瞬時値 $I_m$ に基づいて、下記の(13)式から、ピストン中立位置 $P_{ini}$ を基準とするピストン振幅中心位置 $P_{av}$ の変位置 $y_{av}$ "

[m] が算出され、該変位置 $y_{av}$ " を示す情報が振幅中心位置情報 $I_{av}$ として出力される。つまり、上記実施の形態3で説明したように、リニアコンプレッサ100のリニアモータによるピストン往復運動については、運動方程式として上記(10)式が成立する。

【0150】このようなピストン往復運動における、リニアコンプレッサに入力する駆動電流の位相が、 $90^\circ$  及び $270^\circ$  の少なくとも一方の位相となる位相タイミングでは、ピストン加速度 $a$  [m/s<sup>2</sup>] はゼロ、ピストン中立位置 $P_{ini}$ を基準とするピストン位置 $P$ の変位置 $y$ " [m] は、ピストン中立位置 $P_{ini}$ を基準とするピストン振幅中心位置 $P_{av}$ の変位置 $y_{av}$ " と一致することとなり、また駆動電流 $I$  [A] は最大値 $I_m$ となる。

【0151】この実施の形態4では、リニアコンプレッサ100は、上記位相タイミングでリニアコンプレッサ100の吸入弁が開き、圧縮室内部の圧力 $P(t)$  [Pa] が吸入圧 $P_s$  [Pa] と等しくなるよう設計されているため、上記(10)式に代えて次式(13)が成立することとなる。

【数13】

$$k \times y_{av} = \alpha \times I_m$$

…(13)

この式(13)より、ピストン振幅中心位置 $P_{av}$ の変位量 $y_{av}$  [m]は、リニアコンプレッサの入力電流の最大振幅 $I_m$  [A]とリニアモータの推力定数 $\alpha$  [N/A]の積を、リニアコンプレッサの支持バネのバネ定数 $k$  [N/m]によって除算する演算処理により求められる。

【0152】このように本実施の形態のリニアコンプレッサ駆動装置104では、実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置101における出力電圧検出手段4及びピストン速度検出手段8に代えて、リニアコンプレッサの駆動電流 $I_d$ の位相が $90^\circ$ 及び $270^\circ$ の少なくとも一方の位相となる位相タイミングにおける駆動電流の瞬時値 $I_m$  [A]に基づいて、ピストン振幅中心位置を示す変位量 $y_{av}$ を算出する中心位置算出手段61を備えたので、ピストン中立位置 $P_{ini}$ に対するピストン往復運動の中心位置 $P_{av}$ の変位量 $y_{av}$ を、乗算及び除算のみの簡単な演算処理により精度よく求めることができ、ピストン往復運動の中心位置 $P_{av}$ の検出を簡単にかつ高精度で行うことができる。

【0153】なお、上記実施の形態4では、リニアコンプレッサ駆動装置104として、インバータ駆動電流 $I_d$ の位相が、 $90^\circ$ 及び $270^\circ$ の少なくとも一方の位相となる位相タイミングにて、インバータ駆動電流 $I_d$ の瞬時値 $I_m$ を検出し、この瞬時値 $I_m$ に基づいてピストン振幅中心位置情報を算出するものを示したが、リニアコンプレッサ駆動装置104は、上記インバータ駆動電流 $I_d$ の瞬時値 $I_m$ と、リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力及びリニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力とに基づいて、ピストン振幅中心位置情報を算出するものであってもよい。

【0154】この場合、リニアコンプレッサ駆動装置は、実施の形態4のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力を検知する吐出圧力検知手段と、上記リニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力を検知する吸入圧力検知手段とを備え、上記中心位置情報算出手段を、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差に基づいて上記冷媒ガスから上記ピストンに作用する、上記ピストン往復運動の方向における作用力を算出し、該算出された作用力に基づいて、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものとなる。

【0155】また、上記中心位置情報算出手段は、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差と、上記共振周波数情報出力手段5から出力される共振周波数情報が示す共振周波数とに基づいて、冷媒ガスからピストンに作用する、上記ピストン往復運動方向における作用力を算出し、該算出された作用力から、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものと

してもよい。

【0156】

【発明の効果】以上のようにこの発明(請求項1)に係るリニアコンプレッサの駆動装置によれば、ピストン及びピストンを往復運動させるリニアモータを有し、該ピストンの往復運動により圧縮ガスを生成するリニアコンプレッサを、該リニアモータに交流電圧を印加して駆動するリニアコンプレッサ駆動装置であって、上記リニアモータに交流電圧及び交流電流を出力するインバータと、上記ピストン往復運動の共振周波数を示す共振周波数情報を出力する共振周波数情報出力手段と、上記インバータの出力電圧を検出して電圧検出信号を出力する電圧検出手段と、上記インバータの出力電流を検出して電流検出信号を出力する電流検出手段と、上記共振周波数情報に基づいて、上記インバータを、その出力電圧及び出力電流としてそれぞれ、周波数が上記ピストン往復運動の共振周波数と一致した正弦波状電圧及び正弦波状電流を出力するよう制御するインバータ制御器と、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを特定位相タイミングとして検知するタイミング検知手段と、上記電圧検出信号及び上記電流検出信号を受け、上記特定位相タイミングにおける、上記インバータの出力電圧及び出力電流のそれぞれ瞬時値に基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン速度の最大振幅を算出するピストン速度算出手段とを備えたので、リニアコンプレッサの駆動電流及び駆動電圧に基づいて、積分演算や微分演算といった複雑な計算を用いずに、ピストンの変位を容易にかつ精度よく求めることができるという効果がある。

【0157】この発明(請求項2)によれば、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記タイミング検知手段は、上記電流検出信号に基づいて、上記インバータの出力電流の振幅が最大となる位相タイミングを、上記特定位相タイミングとして検知するものであることを特徴とするので、リニアコンプレッサの駆動電流と駆動電圧からピストン速度を算出する計算式における、駆動電流の微分値を含む項をゼロとして削除することができる効果がある。

【0158】この発明(請求項3)によれば、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記タイミング検知手段は、上記電流検出信号に基づいて、上記インバータの出力交流電流の位相が、 $90^\circ$ 及び $270^\circ$ の少なくとも一方の位相となる位相タイミングを、上記特定位相タイミングとして検知することを特徴とするので、リニアコンプレッサの駆動電流と駆動電圧からピストン速度を算出する計算式における、駆動電流の微分値を含む項をゼロとして削除することができる効果がある。

【0159】この発明(請求項4)によれば、請求項3記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記イン



バータに該インバータを駆動制御するインバータ駆動制御信号を出力するインバータ制御器を備え、上記タイミング検知手段を、上記インバータ駆動制御信号の位相に基づいて、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを検知するものとしたことを特徴とするので、リニアコンプレッサの駆動電流と駆動電圧からピストン速度を算出する計算式における、駆動電流の微分値を含む項を削除することができる効果がある。

【0160】この発明（請求項5）によれば、請求項4記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記タイミング検知手段は、上記インバータの出力電流の位相に対する、上記インバータ駆動制御信号の位相の位相ずれ量を検出する位相ずれ量検出器を有し、該位相ずれ量がゼロとなるようその位相が補正されたインバータ駆動制御信号に基づいて、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを検知するものであることを特徴とするので、インバータ駆動制御信号に基づいて、インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを正しく検出することができる効果がある。

【0161】この発明（請求項6）によれば、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン速度算出手段は、上記リニアモータの、温度変化によりその値が変動する推力定数に対して温度補正処理を施し、該温度補正処理を施した推力定数と、上記瞬時電流値、瞬時電圧値、及び該リニアモータの内部抵抗値とに基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするので、上記ピストン速度の最大振幅を、リニアコンプレッサの温度変化によるリニアモータの推力定数の変動に拘わらず、常に精度よく検出することができる効果がある。

【0162】この発明（請求項7）によれば、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン速度算出手段は、上記リニアモータの、温度変化によりその値が変動する内部抵抗値に対して温度補正処理を施し、該温度補正処理を施した内部抵抗値と、上記インバータの出力電圧及び出力電流のそれぞれの瞬時値と、上記リニアモータの推力定数とに基づいて、上記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするので、上記ピストン速度の最大振幅を、リニアコンプレッサの温度変化によるリニアモータの内部抵抗値の変動に拘わらず、常に精度よく検出することができる効果がある。

【0163】この発明（請求項8）によれば、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン速度算出手段は、上記ピストン速度の最大振幅を算出する速度算出処理を繰り返し行い、該繰り返しされる各速度算出処理では、上記リニアモータの、該ピストン速度の変化によりその値が変動する推力定数の値を、前回の速度算出処理により算出されたピストン速度の最大振幅に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上

記ピストン速度の最大振幅を算出するものであることを特徴とするので、上記ピストン速度の最大振幅を、ピストン速度の変動に伴うリニアモータの推力定数の変動に拘わらず、常に精度よく検出することができる効果がある。

【0164】この発明（請求項9）によれば、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン変位の最大振幅を示すピストンストローク情報を算出するストローク情報算出手段を備えたことを特徴とするので、上記ピストンストローク情報に基づいて、リニアコンプレッサの駆動能力を制御することができる効果がある。

【0165】この発明（請求項10）によれば、請求項1記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段を備えたことを特徴とするので、ピストン下死点位置情報により共振バネのたわみ量を把握することができる。これにより、この共振バネのたわみ量に基づいて、該共振バネが破壊限界以上に変形されないようにリニアコンプレッサの駆動制御を行うことも可能となる。

【0166】この発明（請求項11）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段と、上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、該ピストン中心位置情報に基づいて、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することが可能となり、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる効果がある。

【0167】この発明（請求項12）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅とに基づいて、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する下死点位置情報算出手段

段と、上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、該上死点位置情報に基づいて、ピストンとシリンダヘッドの衝突の可能性を高い精度で判定することができる効果がある。

【0168】この発明（請求項13）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を検出し、該位置を示す上死点位置情報を出力する上死点位置情報検出センサと、上記上死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、簡易的なセンサを1つ用いることで、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することが可能となり、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる効果がある。

【0169】この発明（請求項14）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を検出して、該位置を示す上死点位置情報を出力する上死点位置情報検出センサと、上記上死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、簡易的なセンサを1つ用いることで、該ピストン下死点位置情報に基づいて、共振バネが破壊限界以上に変形されないようリニアコンプレッサの駆動制御を行うことも可能となる。

【0170】この発明（請求項15）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を検出して、該位置を示す下死点位置情報を出力する下死点位置情報検出センサと、上記下死点位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、簡易的なセンサを1つ用いることで、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することが可能となり、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる効果がある。

【0171】この発明（請求項16）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を検出して、該位置を示す下死点位置情報を出力する下死点位置情報検出センサと、上記下死点位置情報及び上記ピスト

ンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、簡易的なセンサを1つ用いることで、上記上死点位置情報に基づいて、ピストンとシリンダヘッドの衝突の危険度を判定することができる効果がある。

【0172】この発明（請求項17）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータの出力電流に基づいて上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する中心位置情報算出手段と、上記中心位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン上死点位置を示す上死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、該上死点位置情報に基づいて、ピストンとシリンダヘッドの衝突の可能性を高い精度で判定することができる効果がある。

【0173】この発明（請求項18）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記インバータの出力電流に基づいて上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す中心位置情報を算出する中心位置情報算出手段と、上記中心位置情報及び上記ピストンストローク情報に基づいて四則演算を行って、上記ピストン往復運動におけるピストン下死点位置を示す下死点位置情報を算出する演算手段とを備えたことを特徴とするので、該ピストン下死点位置情報に基づいて、共振バネが破壊限界以上に圧縮されないようリニアコンプレッサの駆動制御を行うことも可能となる。

【0174】この発明（請求項19）によれば、請求項10ないし12のいずれかに記載のリニアコンプレッサの駆動装置において、上記リニアコンプレッサは、上記ピストンがその中立位置から変位したときに、該ピストンがその中立位置に戻るよう該ピストンを付勢する弾性部材を有するものであり、上記下死点位置情報算出手段は、上記インバータ制御器により決定される上記インバータの出力電圧及び出力電流の周波数と、上記ピストン速度算出手段により算出されたピストン速度の最大振幅と、上記リニアコンプレッサにおける、上記ピストン往復運動を行う可動部の重量と、上記弾性部材のバネ定数とから、上記下死点位置情報として、上記ピストンの中立位置を基準として上記ピストン下死点位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするので、ピストン下死点位置情報により共振バネのたわみ量を把握することができる。これにより、この共振バネのたわみ量に基づいて、該共振バネが破壊限界以上に変形されないようにするリニアコンプレッサの駆動制御を簡単に行うことが可能となる。

【0175】この発明（請求項20）によれば、請求項9記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記ピストンストローク算出手段は、上記ピストン速度の最大



振幅に基づいて上記ピストンストローク情報を算出する算出処理を繰り返し行い、該繰り返される個々の算出処理では、上記リニアモータの、該ピストン位置の変化によりその値が変動する推力定数の値を、該前回の算出処理により算出されたピストンストローク情報に基づいて補正し、補正した推力定数に基づいて、上記ピストンストローク情報を算出するものであることを特徴とするもので、上記ピストン速度の最大振幅を、ピストン位置の変動に伴うリニアモータの推力定数の変動に拘わらず、常に精度よく検出することができる効果がある。

【0176】この発明（請求項21）に係るリニアコンプレッサ駆動装置によれば、ピストン及びピストンを往復運動させるリニアモータを有し、該ピストンの往復運動により圧縮ガスを発生するリニアコンプレッサを、該リニアモータに交流電圧を印加して駆動するリニアコンプレッサ駆動装置であって、上記リニアモータに交流電圧及び交流電流を出力するインバータと、上記ピストン往復運動の共振周波数を示す共振周波数情報を出力する共振周波数情報出力手段と、上記インバータの出力電流を検出して電流検出信号を出力する電流検出手段と、上記共振周波数情報に基づいて、上記インバータを、その出力電圧及び出力電流としてそれぞれ、周波数が上記ピストン往復運動の共振周波数と一致した正弦波状電圧及び正弦波状電流を出力するよう制御するインバータ制御器と、上記インバータの出力電流の微分値がゼロとなる位相タイミングを特定位相タイミングとして検知するタイミング検知手段と、上記特定位相タイミングにおける、上記インバータの出力電流の瞬時値に基づいて、上記リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力と上記リニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力との圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として、上記ピストン往復運動におけるピストン中心位置を示す位置情報を算出するピストン中心位置算出手段とを備えたので、該ピストン中心位置情報に基づいて、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することが可能となり、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる効果がある。

【0177】この発明（請求項22）によれば、請求項21記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記リニアコンプレッサは、上記ピストンがその中立位置から変位したときに、該ピストンがその中立位置に戻るよう該ピストンを付勢する弾性部材を有するものであり、上記中心位置情報算出手段は、上記インバータの出力電流の最大振幅値と、上記リニアモータの推力定数と、上記弾性部材のバネ定数とから、上記中心位置情報として、上記ピストンの中立位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするので、ピストン中心位置情報に基づいて、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモ

ータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することが可能となり、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる効果がある。

【0178】この発明（請求項23）によれば、請求項21記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記リニアコンプレッサが吐出する冷媒ガスの圧力を検知する吐出圧力検知手段と、上記リニアコンプレッサが吸入する冷媒ガスの圧力を検知する吸入圧力検知手段とを備え、上記中心位置情報算出手段は、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差に基づいて上記冷媒ガスから上記ピストンに作用する、上記ピストン往復運動の方向における作用力を算出し、該算出された作用力に基づいて、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするので、ピストン中心位置情報に基づいて、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することが可能となり、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる効果がある。

【0179】この発明（請求項24）によれば、請求項23記載のリニアコンプレッサ駆動装置において、上記中心位置情報算出手段は、上記吐出圧力と上記吸入圧力の圧力差と、上記共振周波数情報が示す共振周波数とに基づいて、冷媒ガスからピストンに作用する、上記ピストン往復運動方向における作用力を算出し、該算出された作用力から、上記中心位置情報として、上記圧力差がゼロとなるピストン位置を基準として上記ピストン中心位置を示す位置情報を算出するものであることを特徴とするので、該ピストン中心位置情報に基づいて、リニアコンプレッサを、ピストン振動中心位置が、リニアモータの最大効率を達成することができる位置に一致するよう制御することが可能となり、リニアコンプレッサ駆動効率のさらなる向上を図ることができる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1によるリニアコンプレッサ駆動装置を説明するためのブロック図である。

【図2】上記実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置におけるインバータの具体的な回路構成を示す図であり、電圧型フルブリッジインバータ（図(a)）、電流型フルブリッジインバータ（図(b)）、及び電圧型ハーフブリッジインバータ（図(c)、(d)）を示している。

【図3】上記実施の形態1のリニアコンプレッサ駆動装置により駆動されるリニアコンプレッサの共振運転状態における、駆動電流の位相に対するピストン変位量、ピストン速度、ピストン加速度の位相を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態2によるリニアコンプレッサの駆動装置を説明するためのブロック図である。

【図5】本発明の実施の形態3によるリニアコンプレッサの駆動装置を説明するためのブロック図である。

【図6】本発明の実施の形態4によるリニアコンプレッサの駆動装置を説明するためのブロック図である。

【図7】一般的なりニアコンプレッサを説明するための断面図である。

【図8】上記リニアコンプレッサを構成するリニアモータの等価回路を示す図である。

【図9】上記リニアコンプレッサのシリンダ内でのピストン位置を模式的に示す図である。

【図10】上記実施の形態3及び4のリニアコンプレッサ駆動装置の動作を説明するための図である。

【符号の説明】

1 リニアコンプレッサ

1 a 冷媒吸入管

1 b 冷媒吐出管

2 インバータ

3 出力電流検出手段

4 出力電圧検出手段

5 共振周波数推定手段

6 インバータ制御器

7 タイミング検知手段

8 ピストン速度算出手段

9 電流センサ

10, 11 開閉スイッチ

41 ピストンストローク算出手段

51 下死点位置算出手段

61 中心位置算出手段

\* 71 a ピストン部

71 b モータ部

72 ピストン

73 マグネット

74 a アウターヨーク

74 b ステータコイル

76 ガス圧縮室

79 吸入バルブ

80 吐出バルブ

10 81 共振バネ（支持ばね）

82 リニアモータ

100 リニアコンプレッサ

101~104 リニアコンプレッサ駆動装置

Dcd 駆動電流検出信号

Dvd 駆動電圧検出信号

Id リニアコンプレッサ駆動電流（インバータ出力電流）

Ipve ピストン速度情報

Irf 共振周波数情報

20 Scm 駆動電流モニタ信号

Scp インバータ制御パルス信号

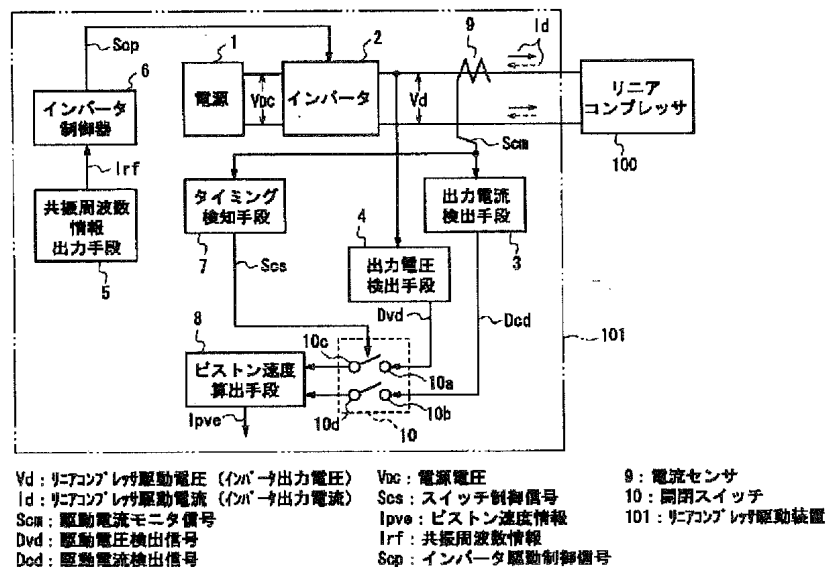
Scs スイッチ制御信号

Vd リニアコンプレッサ駆動電圧（インバータ出力電圧）

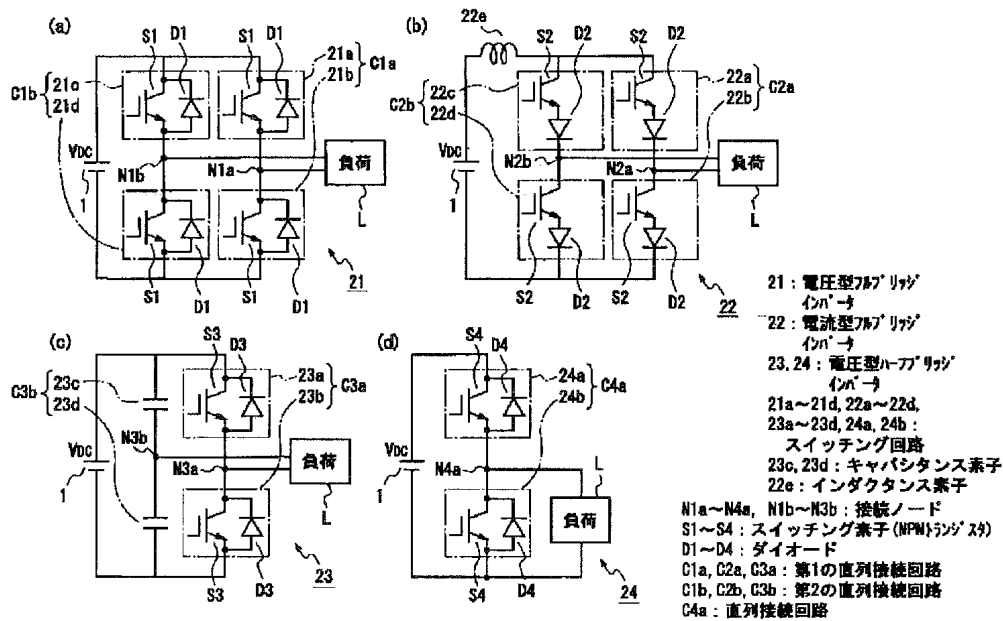
V<sub>DC</sub> 電源電圧

\*

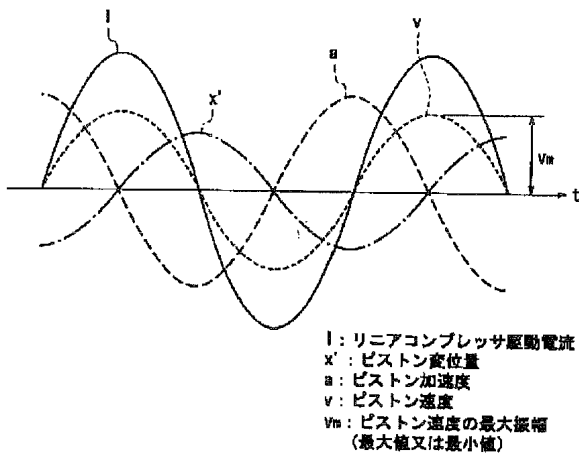
【図1】



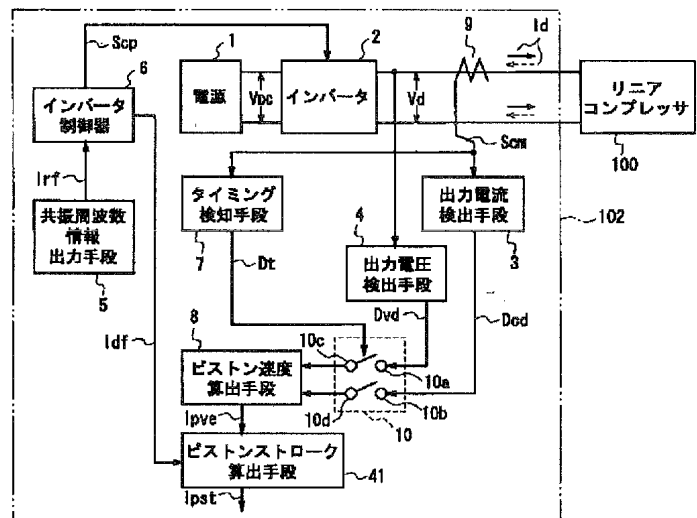
【図2】



【図3】

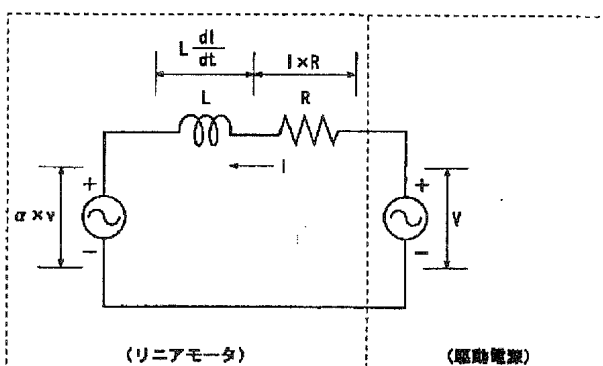


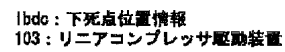
【図4】



Ipst: ピストンストローク情報  
 Idf: インバータ駆動周波数情報  
 102: リニアコンプレッサ駆動装置

【図8】





2

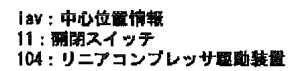
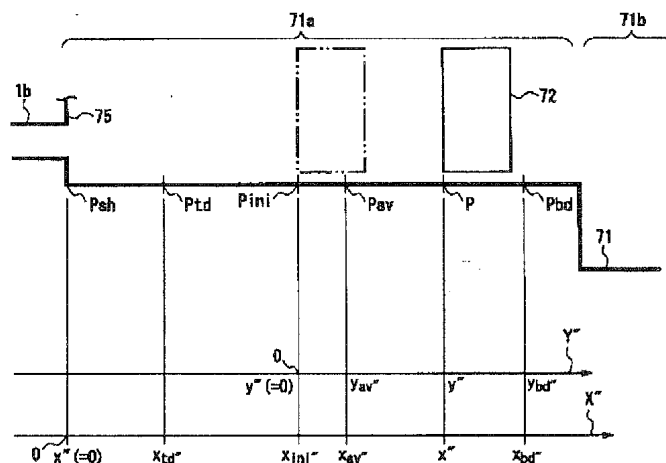
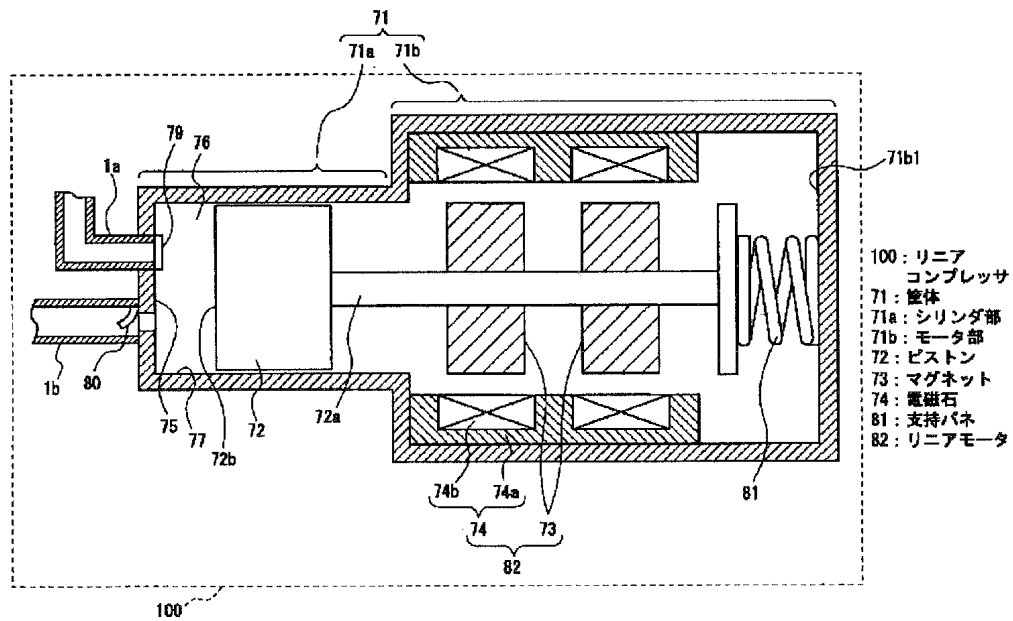


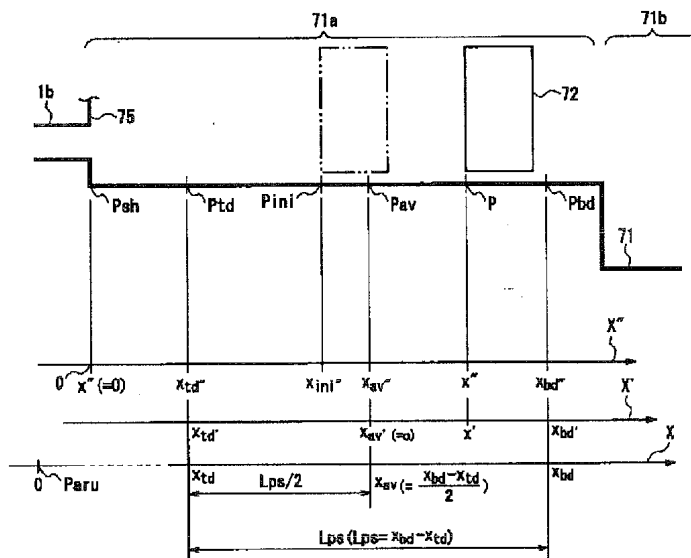
Figure 10.4



【図7】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H02K 33/06

識別記号

F I

H02K 33/06

テーマコード(参考)

5H633

F ターム(参考) 3H045 AA03 AA12 AA25 BA28 BA31  
BA40 CA21 DA10 DA41 DA47  
EA01 EA04 EA34 EA38 EA42  
3H069 AA05 BB02 CC04 DD02 DD19  
EE05 EE07 EE32 EE37 EE42  
EE45  
3H075 AA18 BB03 BB30 CC36 DA03  
DA04 DA06 DB08 DB49 EE00  
EE12  
3H076 AA02 BB43 CC04 CC28 CC31  
CC43 CC98  
5H540 AA10 BB04 BB06 EE08 FC02  
FC03  
5H633 BB03 GG02 GG04 GG09 GG13  
HH03 HH13 JA09